

# **İntegral Köprü Elemanları için Hareketli Yük Dağılım Formüllerinin Geliştirilmesi**

**Proje No: 106M169**

Doç.Dr. Murat DİCLELİ  
Semih ERHAN

EYLÜL 2008  
ANKARA

## ÖNSÖZ

İntegral köprüler genleşme derzi olmayan, rijit çerçeveli köprüler olarak tanımlanabilir. Bu köprüler, inşaat, bakım ve onarım masrafları yönünden ekonomik olmaları sebebiyle, ABD, Kanada ve Avrupa'nın pek çok ülkesinde son yıllarda yaygın bir şekilde inşa edilerek geleneksel genleşme derzli köprülerin yerini almaktadırlar. Ancak, bu köprülerin tasarımları için henüz kapsamlı bir teknik standart mevcut değildir. Bu nedenle, hareketli yük dağılım katsayılarının hesaplanması da dahil olmak üzere, bu köprülerin tasarımında genleşme derzli köprüler için geliştirilmiş olan teknik şartnamelerden yararlanılmaktadır. Bu da integral köprülerin ya emniyetsiz yada aşırı maliyetli bir şekilde tasarlanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) destekli bu projede yapılan çalışma ile integral köprülerde hareketli yüklerin köprü elemanlarına dağılımı ile ilgili katsayıları veren formüller geliştirilmiştir.

# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	1
ABSTRACT .....	1
1. GİRİŞ .....	2
2. GENEL BİLGİLER .....	3
3. YÖNTEM .....	4
4. BULGULAR .....	5
4.1. İÇ KİRİŞLER İÇİN HAREKETLİ YÜK DAĞILIM FORMÜLLERİN GELİŞTİRİLMESİ .....	5
4.1.1 MOMENT HAREKETLİ YÜK DAĞILIM FORMÜLLERİ İÇİN BİR KATSAYI GELİŞTİRİLMESİ .....	9
4.1.1.1 Katsayıların Geliştirilmesi İle İlgili Sayısal Yöntemin İrdelenmesi .....	9
4.1.1.2 İki Ya Da Daha Fazla Tasarım Şeridinin Yüklü Olması Durumu İçin Geliştirilmiş Olan Katsayı .....	10
4.1.1.3 Tek Tasarım Şeridinin Yüklü Olması Durumu İçin Geliştirilmiş Olan Katsayı .....	11
4.1.2 İNTEGRAL KÖPRÜLERDE KİRİŞ MOMENTİ HAREKETLİ YÜK DAĞILIMI İÇİN YENİ FORMÜLLERİN GELİŞTİRİLMESİ .....	12
4.1.2.1 Formüllerin Geliştirilmesi İle İlgili Sayısal Yöntemin İrdelenmesi .....	12
4.1.2.2 İki Ya Da Daha Fazla Tasarım Şeridinin Yüklü Olması Durumu İçin Geliştirilmiş Olan Formül .....	12
4.1.2.3 Tek Tasarım Şeridinin Yüklü Olması Durumu İçin Geliştirilmiş Olan Formül .....	13
4.1.3 YENİ KATSAYI VE FORMÜLLERİN, ANALİZ SONUÇLARI VE AASHTO FORMÜLLERİYLE KARŞILAŞTIRILMASI .....	14
4.2. DIŞ KİRİŞLER İÇİN HAREKETLİ YÜK DAĞILIM FORMÜLLERİ NİN GELİŞTİRİLMESİ .....	18
4.2.1 İNTEGRAL KÖPRÜ DIŞ KİRİŞ HAREKETLİ YÜK DAĞILIMI İÇİN KATSAYI GELİŞTİRİLMESİ .....	22
4.2.1.1 Katsayının Geliştirilmesi İle İlgili Sayısal Yöntemin İrdelenmesi .....	22

4.2.1.2 İki Ya Da Daha Fazla Tasarım Şeridinin Yüklü Olması Durumu İçin Geliştirilmiş Olan Katsayılar. ....	23
4.2.1.3 Tek Tasarım Şeridinin Yüklü Olması Durumu İçin Geliştirilmiş Olan Katsayılar .....	25
4.2.2 İNTEGRAL KÖPRÜLERDE DIŞ KİRİŞ HAREKETLİ YÜK DAĞILIMI İÇİN YENİ FORMÜLLERİN GELİŞTİRİLMESİ.....	26
4.2.2.1 Formüllerin Geliştirilmesi İle İlgili Sayısal Yöntemin İrdelenmesi.....	27
4.2.2.2 İki Ya Da Daha Fazla Tasarım Şeridinin Yüklü Olması Durumu İçin Geliştirilmiş Olan Formüller .....	27
4.2.2.3 Tek Tasarım Şeridinin Yüklü Olması Durumu İçin Geliştirilmiş Olan Formüller .....	29
4.2.3 YENİ KATSAYI VE FORMÜLLERİN, ANALİZ SONUÇLARI VE AASHTO FORMÜLLERİYLE KARŞILAŞTIRILMASI .....	31
4.3. KAZIKLAR İÇİN HAREKETLİ YÜK DAĞILIM FORMÜLLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ .....	33
4.3.1 FORMÜLLERİN GELİŞTİRİLMESİ İLE İLGİLİ SAYISAL YÖNTEMİN İRDELENMESİ.....	33
4.3.2 İKİ YA DA DAHA FAZLA TASARIM ŞERİDİNİN YÜKLÜ OLMASI DURUMU İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ OLAN FORMÜLLER .....	37
4.3.3 TEK TASARIM ŞERİDİNİN YÜKLÜ OLMASI DURUMU İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ OLAN FORMÜLLER .....	38
4.3.4 YENİ FORMÜLLERİN, ANALİZ SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI .....	39
4.4. UÇ AYAK İÇİN HAREKETLİ YÜK DAĞILIM FORMÜLLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ .....	40
4.4.1 FORMÜLLERİN GELİŞTİRİLMESİ İLE İLGİLİ SAYISAL YÖNTEMİN İRDELENMESİ.....	46
4.4.1.1 Uç Ayak Moment Hareketli Yük Dağılım Formüllerin Geliştirilmesi İle İlgili Sayısal Yöntemin İrdelenmesi .....	46
4.4.1.2 Uç Ayak Kesme Kuvveti Hareketli Yük Dağılım Formüllerin Geliştirilmesi İle İlgili Sayısal Yöntemin İrdelenmesi .....	47

<b>4.4.2 İKİ YA DA DAHA FAZLA TASARIM ŞERİDİNİN YÜKLÜ OLMASI DURUMU İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ OLAN UÇ AYAK MOMENTİ HAREKETLİ YÜK DAĞILIM FORMÜLÜ .....</b>	<b>47</b>
<b>4.4.3 TEK TASARIM ŞERİDİNİN YÜKLÜ OLMASI DURUMU İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ OLAN UÇ AYAK MOMENTİ HAREKETLİ YÜK DAĞILIM FORMÜLÜ .....</b>	<b>49</b>
<b>4.4.4 İKİ YA DA DAHA FAZLA TASARIM ŞERİDİNİN YÜKLÜ OLMASI DURUMU İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ OLAN UÇ AYAK KESME KUVVETİ HAREKETLİ YÜK DAĞILIM FORMÜLÜ.....</b>	<b>50</b>
<b>4.4.5 TEK TASARIM ŞERİDİNİN YÜKLÜ OLMASI DURUMU İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ OLAN UÇ AYAK KESME KUVVETİ HAREKETLİ YÜK DAĞILIM FORMÜLÜ .....</b>	<b>50</b>
<b>4.4.6 YENİ FORMÜLLERİN, ANALİZ SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI .....</b>	<b>51</b>
<b>5. SONUÇLAR .....</b>	<b>54</b>

## ŞEKİLLER

**Şekil 4.1.1** İki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumu için iç kiriş moment hareketli yük dağılım düzeltme katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  ve  $R_4$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.1.2** Tek tasarım şeridinin yüklü olması durumu için iç kiriş moment hareketli yük dağılım düzeltme katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  ve  $R_4$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.1.3** İki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumu için iç kiriş moment hareketli yük dağılım formülünün geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  ve  $R_4$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.1.4** Tek tasarım şeridinin yüklü olması durumu için iç kiriş moment hareketli yük dağılım formülünün geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  ve  $R_4$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.1.5** Moment ( $M_g$ ) dağılım katsayısı (DF) – Açıklık; tek yüklü tasarım şeridi durumu, IV. tip kiriş, 0.2 m tabliye kalınlığı ve (a) 2.4 m. (b) 1.2 m. kiriş aralığı için.

**Şekil 4.1.6** Moment ( $M_g$ ) dağılım katsayısı (DF) – Açıklık; iki yada daha fazla yüklü tasarım şeridi durumu, 2.4 m kiriş aralığı, 0.2 m tabliye kalınlığı ve (a) IV. tip kiriş (b) VI. tip kiriş için.

**Şekil 4.1.7** Moment ( $M_g$ ) dağılım katsayısı (DF) – Açıklık; tek yüklü tasarım şeridi durumu, 0.2 m tabliye kalınlığı ve (a) 15 m açıklık ve IV. tip kiriş (b) 30 m. açıklık ve VI. tip kiriş için.

**Şekil 4.1.8** Moment ( $M_g$ ) dağılım katsayısı (DF) – Açıklık; iki ya da daha fazla yüklü tasarım şeridi durumu, 0.2 m tabliye kalınlığı ve (a) 15 m açıklık ve IV. tip kiriş (b) 30 m. açıklık ve VI. tip kiriş için.

**Şekil 4.1.9** Moment ( $M_g$ ) dağılım katsayısı (DF) – kiriş tipi; tek yüklü tasarım şeridi durumu, 2.4 m kiriş aralığı, 0.2 m tabliye kalınlığı ve (a) 15 m (b) 30 m. açıklık için.

**Şekil 4.1.10** Moment ( $M_g$ ) dağılım katsayısı (DF) – kiriş tipi; iki ya da daha fazla yüklü tasarım şeridi durumu, 2.4 m kiriş aralığı, 0.2 m tabliye kalınlığı ve (a) 15 m (b) 30 m. açıklık için.

**Şekil 4.1.11** Moment ( $M_g$ ) dağılım katsayısı (DF) – tabliye kalınlığı; tek yüklü tasarım şeridi durumu, 2.4 m kiriş aralığı, IV. tip kirişe ve (a) 15 m (b) 30 m. açıklık için.

**Şekil 4.1.12** Moment ( $M_g$ ) dağılım katsayısı (DF) – tabliye kalınlığı; iki ya da daha fazla yüklü tasarım şeridi durumu, 2.4 m kiriş aralığı, IV. tip kirişe ve (a) 15 m (b) 30 m. açıklık için.

**Şekil 4.2.1** Dış kiriş moment hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  ve  $R_5$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.2.2** Dış kiriş kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  ve  $R_5$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.2.3** Dış kiriş moment hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  ve  $R_5$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.2.4** Dış kiriş kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  ve  $R_5$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.2.5** Dış kiriş moment hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $D_{de}$ ,  $D_S$ ,  $D_L$ ,  $D_{ts}$  ve  $D_{Kg}$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.2.6** Dış kiriş kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $D_{de}$ ,  $D_S$ ,  $D_L$ ,  $D_{ts}$  ve  $D_{Kg}$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.2.7** Dış kiriş momenti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $D_{de}$ ,  $D_S$ ,  $D_L$ ,  $D_{ts}$  ve  $D_{Kg}$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.2.8** Dış kiriş kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $D_{de}$ ,  $D_S$ ,  $D_L$ ,  $D_{ts}$  ve  $D_{Kg}$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.2.9** SEY, AASHTO, Yeni formül ve katsayılar ile hesaplanmış moment hareketli yük dağılım katsayılarının karşılaştırılması a)  $L$ , ( $S=2.4$  m,  $t_s=0.2$  m,  $GT=III$ ,  $d_e=0.3$ ) (b)  $S$  ( $L=20$  m,  $t_s=0.2$  m,  $GT=III$ ,  $d_e=0.3$ ), (c)  $d_e$  ( $L=20$  m,  $S=2.4$  m,  $t_s=0.2$  m,  $GT=III$ ), (d)  $K_g$  ( $L=20$  m,  $S=2.4$  m,  $t_s=0.2$  m,  $d_e=0.3$ ).

**Şekil 4.2.10** SEY, AASHTO, Yeni formül ve katsayılar ile hesaplanmış kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayılarının karşılaştırılması (a)  $L$ , ( $S=2.4$  m,  $t_s=0.2$  m,  $GT=III$ ,  $d_e=0.3$ ) (b)  $S$  ( $L=20$  m,  $t_s=0.2$  m,  $GT=VI$ ,  $d_e=0.3$ ), (c)  $d_e$  ( $L=20$  m,  $S=2.4$  m,  $t_s=0.2$  m,  $GT=III$ ), (d)  $K_g$  ( $L=20$  m,  $S=2.4$  m,  $t_s=0.2$  m,  $d_e=0.3$ ).

**Şekil 4.3.1** Kazık momenti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$  ve  $R_2$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.3.2** Kazık kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$  ve  $R_2$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.3.3** Kazık momenti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$  ve  $R_2$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.3.4** Kazık kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$  ve  $R_2$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.3.5** SEY ve Yeni formül ile hesaplanmış moment hareketli yük dağılım katsayılarının karşılaştırılması a) ( $W=14.4$  m,  $H=3$  m  $Ps=1.2$  m) (b) ( $W=14.4$  m,  $H=2.4$  m  $Ps=1.2$  m)

**Şekil 4.3.6** SEY ve Yeni formül ile hesaplanmış kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayılarının karşılaştırılması a) ( $W=14.4$  m,  $H= 3$  m  $P_S=1.2$  m) (b) ( $W=14.4$  m,  $H= 2.4$  m  $P_S=1.2$  m)

**Şekil 4.4.1** Uç ayak momenti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$  ve  $R_7$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.4.2** Uç ayak momenti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$  ve  $R_7$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.4.3** Uç ayak kesme hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$  ve  $R_2$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.4.4** Uç ayak kesme hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$  ve  $R_2$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

**Şekil 4.4.5** Kiriş aralığı (S) vs. Moment hareketli yük dağılım katsayısı (LLDF);  $L=20$  m,  $GT=2$ ,  $N_p=13$ , HP250x85,  $C_u=40$   $H=3$  m özelliklerine sahip köprüde (a) iki veya daha fazla tasarım şeridi yüklü (b) tek tasarım şeridi yüklü olması durumları için.

**Şekil 4.4.6** Açıklık (L) vs. Moment hareketli yük dağılım katsayısı (LLDF);  $S=2.4$  m,  $GT=2$ ,  $N_p=10$ , HP250x85,  $C_u=40$   $H=3$  m özelliklerine sahip köprüde (a) iki veya daha fazla tasarım şeridi yüklü (b) tek tasarım şeridi yüklü olması durumları için.

**Şekil 4.4.7** Uç ayak yüksekliği (H) vs. Moment hareketli yük dağılım katsayısı (LLDF);  $S=2.4$  m,  $L=20$  m,  $GT=2$ ,  $N_p=13$ , HP250x85,  $C_u=40$  özelliklerine sahip köprüde (a) iki veya daha fazla tasarım şeridi yüklü (b) tek tasarım şeridi yüklü olması durumları için.

**Şekil 4.4.8** Kiriş tipi (GT) vs. Moment hareketli yük dağılım katsayısı (LLDF);  $S=2.4$  m,  $L=20$  m,  $N_p=13$ , HP250x85,  $C_u=40$ ,  $H=5$  m özelliklerine sahip köprüde (a) iki veya daha fazla tasarım şeridi yüklü (b) tek tasarım şeridi yüklü olması durumları için.

**Şekil 4.4.9** Kiriş aralığı (S) vs. Kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayısı (LLDF);  $L=20$  m,  $GT=2$ ,  $N_p=13$ , HP250x85,  $C_u=40$ ,  $H=3$  m özelliklerine sahip köprüde (a) iki veya daha fazla tasarım şeridi yüklü (b) tek tasarım şeridi yüklü olması durumları için.

**Şekil 4.4.10** Uç ayak yüksekliği (H) vs. Kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayısı (LLDF);  $S=2.4$  m,  $L=20$  m,  $GT=2$ ,  $N_p=13$ , HP250x85,  $C_u=40$  özelliklerine sahip köprüde (a) iki veya daha fazla tasarım şeridi yüklü (b) tek tasarım şeridi yüklü olması durumları için.



## **TABLolar**

**Tablo 4.1.1** İ kiriş hareketli yük dağılım katsayıları

**Tablo 4.1.2** İ kiriş hareketli yük dağılım katsayıları

**Tablo 4.1.3** İ kiriş hareketli yük dağılım katsayıları

**Tablo 4.2.1** Dış kiriş hareketli yük dağılım katsayıları

**Tablo 4.2.2** Dış kiriş hareketli yük dağılım katsayıları

**Tablo 4.2.3** Dış kiriş hareketli yük dağılım katsayıları

**Tablo 4.2.4** Dış kiriş formülleri ortalama ve standart sapma değerleri

**Tablo 4.3.1** Kazık hareketli yük dağılım katsayıları

**Tablo 4.3.2** Kazık hareketli yük dağılım katsayıları

**Tablo 4.3.3** Kazık hareketli yük dağılım katsayıları

**Tablo 4.3.4** Kazık formülleri ortalama ve standart sapma değerleri

**Tablo 4.4.1** Uç ayak hareketli yük dağılım katsayıları

**Tablo 4.4.2** Uç ayak hareketli yük dağılım katsayıları

**Tablo 4.4.3** Uç ayak hareketli yük dağılım katsayıları

**Tablo 4.4.4** Uç ayak hareketli yük dağılım katsayıları

**Tablo 4.4.5** Uç ayak hareketli yük dağılım katsayıları

**Tablo 4.4.6** Uç ayak formülleri ortalama ve Standard sapma değerleri

## ÖZET

Bu çalışmada, integral köprülerin kiriş, uç ayak ve kazıkları için hareketli yük dağılım formülleri geliştirilmiştir. Bu amaçla, çeşitli özelliklere sahip integral köprülerin sonlu elemanlar yöntemi (SEY) kullanılarak iki boyutlu ve üç boyutlu yapısal modelleri kurulmuş ve bu modeller hareketli yüklerin etkisi altında analiz edilmiştir. Bu analizlerde, çeşitli altyapı (temel zemini rijitliği, uç ayak yüksekliği, kazık ebadı) ve üstyapı (köprü açıklığı, kiriş aralığı, kiriş tipi ve tabliye kalınlığı) parametreleri ele alınarak bu parametrelerin etkileri araştırılmıştır. İki ve üç boyutlu yapısal modellerin analiz sonuçlarından, integral köprü elemanları için hareketli yük dağılım katsayıları yukarıda bahsedilen parametrelerin bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Daha sonra, integral köprüler için hesaplanan kiriş hareketli yük dağılım katsayıları, Amerikan Karayolları ve Ulaştırma İdaresi (AASHTO) standartlarında bulunan formüllerden hesaplanan katsayılarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda, kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayılarının AASHTO formülleriyle oldukça uyumlu olduğu, fakat moment hareketli yük dağılım formüllerinin AASHTO formüllerinden, özellikle kısa açıklıklı köprüler için, oldukça farklı olduğu anlaşılmıştır. Bu sebepten dolayı, integral köprü kiriş momenti hareketli yük dağılımının daha doğru hesaplanabilmesi için analiz sonuçlarından yararlanılarak yeni formüller düzenlenmiştir. Bunun yanı sıra, yine analiz sonuçlarından, uç ayak ve kazıklar için hareketli yük dağılım formülleri geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İntegral köprü, Hareketli yük, Yük dağılımı.

## ABSTRACT

In this study, live load distribution formulae for the girders, abutments and piles of integral abutment bridges (IABs) are developed. For this purpose, two and three dimensional finite element models of several IABs are built and analyzed. In the analyses, the effects of various substructure (foundation soil stiffness, abutment height and pile size) and superstructure properties (span length, girder size and spacing as well as slab thickness) are considered. The results from the analyses of two and three dimensional finite element models are then used to calculate the live load distribution factors (LLDFs) for the girders of IABs as a function of the above mentioned parameters. LLDFs for the girders are also calculated using the AASHTO formulae developed for simply supported bridges (SSBs). Comparison of the analyses results revealed that LLDFs for girder moments of IABs are generally smaller than those calculated for SSBs using AASHTO formulae especially for short spans. However, AASHTO LLDFs for girder shear are found to be in good agreement with those obtained for IABs. Consequently, live load distribution formulae are developed to estimate the girder live load moments for IABs. In addition, live load distribution formulae are developed for the abutments and piles of IABs.

**Keywords:** Integral bridges, Live loads, Load distribution

# 1. GİRİŞ

Bilgisayar yardımıyla, otoyol köprülerinde hareketli yüklerin köprü elemanlarına etkilerini belirlemek için karmaşık üç boyutlu sonlu elaman modelleri kullanarak hesaplar yapmak mümkündür. Fakat bu şekilde karmaşık üç boyutlu modelleri kurmak hem zahmetli hem de zaman alıcıdır. Bu yüzden, çoğu tasarım mühendisi, hareketli yüklerin köprü elemanlarına etkilerini belirlemek için basit iki boyutlu yapısal modeller ve tasarım standartlarında belirtilen hareketli yük dağılım katsayılarını kullanmayı tercih ederler. Geleneksel genişleme derzli köprülerde hareketli yük dağılım katsayıları 1930’lu yıllardan beri kullanılmaktadır. Karayolları ve ulaştırma ile ilgili konularda dünyada en saygın kuruluşlardan biri olarak kabul edilen Amerikan Karayolu ve Ulaştırma Dairesi, AASHTO’ nun, ilgili standartları 1931’den beri hareketli yük dağılım formülleri içermektedirler. Bu formüllerin ilk versiyonları Westergard (1930) ve Newmark (1948)’in çalışmalarına dayanmaktadır. Daha sonra zaman içinde güncellenerek bugün ki şekillerini almışlardır. Genellikle ABD, Türkiye ve daha birçok ülkede köprü tasarımında kullanılan hareketli yük dağılım katsayıları, AASHTO “Standard Specifications”, (AASHTO 2002) ve AASHTO “Load and Resistance Factor Design (LRFD) Specifications” (AASHTO 2007) tasarım standartlarından elde edilir.

AASHTO’ nun ilgili standartlarında bulunan hareketli yük dağılım formülleri geleneksel genişleme derzli köprüler için türetilmiş olup, bu formüllerin bazı durumlarda aşırı güvenli bazı durumlarda ise aşırı güvensiz sonuçlar verdiği bilinmektedir (Cai, 2005; Huo et al., 2005). Bu yüzden geleneksel genişleme derzli köprüler için bile hareketli yüklerin köprü elemanlarına dağılımı hala köprü mühendisleri tarafından tartışılan ve üzerinde çalışılan bir konudur (Bakth ve Moses 1988; Hays 1990; Zokaie et. al. 1991; Tarhini ve Frederick 1992; Zokaie 2000; Cai 2005). Genleşme derzli köprüler için türetilmiş olan hareketli yük dağılım formülleri verevsiz ve basit mesnetli köprüler göz önüne alınarak geliştirildiğinden, sadece bu köprüler için kullanılmalrı uygundur. Fakat köprü mühendislerinin bu formülleri daha karmaşık geometrilere sahip verevli, eğrisel, sürekli ve integral köprüler için de kullandıkları bilinmektedir (Mourad and Tabsh 1999). Bunun en büyük sebebi bu köprü tipleri için henüz hareketli yüklerin köprü elemanlarına nasıl dağıldığı ile ilgili bir çalışma yapılmamış ve bu formüllerin geliştirilmemiş olmasıdır. Bu yüzden bu köprüler, ya aşırı maliyetli yada güvensiz olarak inşaa edilirler (Zokaie et.al 1991). Yapılan bu çalışma sonucunda integral köprüler için hareketli yük dağılım formülleri elde edilmiştir. Bu formüllerin kullanılması suretiyle integral köprüler daha doğru bir şekilde tasarlanacaktır.

## 2. GENEL BİLGİLER

İntegral köprüler genleşme derzi olmayan, rijit çerçeveli (monolitik) köprüler olarak tanımlanabilir. Bu köprüler, inşaat maliyeti, bakım ve onarım masrafları açısından geleneksel genleşme derzli köprülere oranla daha ekonomik olup rijit çerçeve yapıları nedeniyle de deprem yükleri altında daha iyi performans gösterirler. Ekonomik ve fonksiyonel olarak pek çok avantajlara sahip olan bu köprü tipi, ABD, Kanada ve Avrupa'nın pek çok ülkesinde son yıllarda yaygın bir şekilde inşa edilerek geleneksel genleşme derzli köprülerin yerini almaktadır. Bu köprüler, önümüzdeki yıllarda T.C. Karayolları tarafından da uygulama potansiyeline sahiptir.

İntegral köprüler yukarıda bahsettiğimiz pek çok avantajlara sahip olmalarına rağmen, henüz tasarımları için standart yöntemlerin var olduğunu söyleyemeyiz. Çoğu tasarım mühendisi, bu köprüleri boyutlandırırken Amerikan Karayolları ve Ulaştırma Dairesi (AASHTO) tarafından geleneksel genleşme derzli köprüler için önerilmiş olan tasarım standartlarını kullanmaktadırlar. Bu sebepten dolayı integral köprülerin tasarımı ile ilgili gerekli standartların belirlenmesi için son yıllarda çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalara örnek olarak, ısı değişiminin integral köprülerin performansına etkisi, sismik yüklerin integral köprü üzerine etkisi ve verevli integral köprülerin davranışları verilebilir (Lehane et al. 1999, Faraji et al. 2001, Dicleli and Albhaisi 2003, 2004, Dicleli 2005, Khoadir and Hassiotis 2005, Brena et al. 2007, Civian et al. 2007). Literatüre bakıldığında, integral köprülerde hareketli yüklerin köprü elemanlarına dağılım katsayıları ve formülleri ile ilgili bir çalışma göze çarpmamaktadır.

Hareketli yüklerin köprü elemanlarına dağılımı için katsayıların belirlenmesi, genleşme derzli köprüler için bile hala tartışılan ve üzerinde araştırmalar yapılan bir konudur. İntegral köprüler için hareketli yük dağılımı ile ilgili henüz bir çalışma yapılmadığından dolayı, bu tip köprülerin tasarımında mühendisler genellikle genleşme derzli köprüler için geliştirilen formülleri kullanmaktadırlar. Bu sebepten dolayı, bu köprülerin tasarımında, köprü elemanlarına gelen hareketli yük etkileri tam olarak bilinmemektedir. Böylece bu köprülerin elemanları ya gereğinden büyük yada küçük olarak inşa edilmektedirler. Bu da bu köprülerin ya gereğinden fazla masraflı yada güvensiz olarak inşa edilmelerine yol açmaktadır. Bu yüzden, önerilen çalışmada sayısal ve analitik yöntemler kullanılarak integral köprü elemanları için, köprünün geometrik, yapısal ve geoteknik özelliklerini içeren hareketli yük dağılım formüllerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada, integral köprünün kirişleri, yaygın olarak kullanılan öngerilmeli betonarme olarak ele alınmış ve kazık temelinin özellikle de integral köprülerde yaygın olarak kullanılan çelik H tipi kazık olması durumu incelenmiştir. Bu çalışma, zemin tipinin sadece kil olduğu durumları incelemiş olup, zemin rijitliğinin ve kazık boyutunun etkilerini de göz önünde bulundurulmuştur. Bununla beraber, verev etkisi başlı başına kapsamlı bir konu olup incelenecek köprülerde göz önünde bulundurulmamıştır.

### 3. YÖNTEM

Bu çalışmada, öncelikle AASHTO’da bulunan ve geleneksel genleşme derzli köprülerin kirişleri için geliştirilmiş olan hareketli yük dağılım formüllerinin integral köprülerin kirişleri için uygun olup olmadığı kontrol edilmiştir. Daha sonra, integral köprülerin uç mesnet, kazıklar ve giriş tasarımında kullanılmak üzere köprü ile ilgili geometrik, yapısal ve geoteknik özellikleri içeren yeni hareketli yük dağılım formülleri analitik yöntemler kullanılarak geliştirilmiştir.

Bu amaçla, çalışmanın ilk aşamasında, analizleri yapılacak olan integral köprü modellerinde kullanılmak üzere geniş kapsamlı bir tarama yapılarak, bu köprülerle ilgili gerçekçi geometrik yapısal ve geoteknik veriler elde edilmiştir. Ayrıca, integral köprü modellerinin analizlerinde yararlanılacak olan Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) kullanılarak geliştirilen modelleme teknikleri ile ilgili bir literatür çalışması yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, seçilen SEY tekniği ile köprü en gerçekçi şekilde modellenmiştir. Ayrıca, kazık-zemin ve uç-mesnet-dolgu etkileşimleri üzerine yapılmış olan literatür taraması sonucunda bu etkileşimlerde en gerçekçi şekilde modellenmiştir. Daha sonra kurulan iki boyutlu modeller sayesinde, uç ayak dolgu ve kazık temel zemini etkileşiminin integral köprülerin elemanlarında meydana gelen moment ve kesme kuvvetlerine etkileri araştırılmıştır.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında, iki farklı açıklıkta köprü ele alınarak bazı altyapı özelliklerinin (temel zemini rijitliği, uç ayak yüksekliği ve kalınlığı, kazık ebadı ve sayısı v.b.) integral köprü elemanlarında hareketli yük dağılım katsayılarına etkileri araştırıldı. Bu amaçla kurulan iki ve üç boyutlu yapısal modeller SEY kullanılarak oluşturulmuş ve AASHTO hareketli yükleri altında analiz edilmiştir. Üç boyutlu yapısal modellerin analiz sonuçlarından elde edilen moment ve kesme kuvvetlerinin, aynı yapısal özelliklere sahip iki boyutlu yapısal modellerin analiz sonuçlarından elde edilen moment ve kesme kuvvetlerine oranından hareketli yük dağılım katsayıları elde edilmiştir. Bu katsayılar incelendiğinde, alt yapı özelliğine ait hiçbir parametrenin giriş hareketli yük dağılım katsayılarını ve uç ayak yüksekliği dışındaki parametrelerin kazık hareketli yük dağılım katsayılarını etkilemediği anlaşılmıştır. Bu altyapı özellikleri, uç ayak momenti hareketli yük dağılım katsayılarını büyük oranda etkilemesine rağmen, uç ayak kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayılarına yalnızca uç ayak yüksekliği etki etmektedir.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında, integral köprülere özgü bir özellik olan köprü tabliyesinin uç ayak ile olan sürekliliğinin kirişlerde hareketli yük dağılımına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, monolitik uç ayak-kazık sisteminin olduğu ve olmadığı (genleşme derzli köprüler) durumlar varsayılarak yapılan SEY analizlerinden elde edilen hareketli yük dağılım katsayıları karşılaştırılmıştır. Böylelikle genleşme derzli köprülerin kirişleri için geliştirilen AASHTO hareketli yük dağılım katsayılarının integral köprü kirişlerine uygunluğu araştırılmıştır. Ayrıca çeşitli üst yapı özelliklerine (açıklık, giriş aralığı, giriş rijitliği ve tabliye kalınlığı) sahip çok sayıda integral köprüünün iki ve üç boyutlu yapısal modelleri kurularak analiz edilmiştir. Bu analiz sonuçlarından yararlanılarak hareketli yük dağılım katsayıları yukarıda bahsedilen üst yapı parametrelerinin birer fonksiyonu olarak hesaplanmışlardır. Bu üst yapı parametrelerinden giriş aralığının, giriş, uç ayak ve kazık için hesaplanan hareketli yük dağılım katsayılarını büyük oranda etkilediği saptanmıştır. Köprü açıklığı ise giriş ve uç ayak momenti hareketli yük dağılım katsayılarını etkilemektedir. Giriş rijitliği uç ayak moment hareketli yük dağılım katsayısını etkilerken, tabliye kalınlığı yalnızca dış giriş hareketli yük dağılım katsayısını etkilemektedir.

Çalışmanın son aşamasında, integral köprü uç mesnetleri, kazıkları ve kirişleri için doğrusal olmayan regresyon yöntemleri, boyut analizi ve yapı mekaniği bilgileri kullanılarak hareketli yük dağılım formülleri geliştirilmiştir. Formüllerin geliştirilmesi ile ilgili detaylar ve elde edilmiş olan bulgular bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir.

## 4. BULGULAR

### 4.1. İÇ KİRİŞLER İÇİN HAREKETLİ YÜK DAĞILIM FORMÜLLERİN GELİŞTİRİLMESİ

Köprülerde iki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumunda iç kiriş momenti ve kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayıları, aşağıdaki formüllerle hesaplanır (AASHTO 2007).

$$MDF_{iç} = 0.075 + \left( \frac{S}{2900} \right)^{0.6} \cdot \left( \frac{S}{L} \right)^{0.2} \cdot \left( \frac{K_g}{Lt_s^3} \right)^{0.1} \quad (4.1.1)$$

$$VDF_{iç} = 0.2 + \left( \frac{S}{3600} \right) - \left( \frac{S}{10700} \right)^{2.0} \quad (4.1.2)$$

Tek tasarım şeridinin yüklü olması durumunda ise, iç kirişler için moment ve kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayıları aşağıdaki formüllerle hesaplanır (AASHTO 2007).

$$MDF_{iç} = 0.06 + \left( \frac{S}{4300} \right)^{0.4} \left( \frac{S}{L} \right)^{0.3} \left( \frac{K_g}{Lt_s^3} \right)^{0.1} \quad (4.1.3)$$

$$VDF_{iç} = 0.36 + \frac{S}{7600} \quad (4.1.4)$$

Yukarıdaki ifadelerde sırasıyla;  $S$ ; kiriş aralığı (mm),  $L$ ; köprü açıklığı (mm),  $t_s$ ; tabliye kalınlığı (mm),  $d_e$ ; bariyer iç yüzünden dış kiriş ağırlık merkezine olan mesafe (mm),  $K_g$  ise, kiriş atalet momenti, tabliye ve kiriş elastisite modülü ve tabliye kalınlığına bağlı olarak hesaplanan boyutsuz bir parametredir.

İntegral köprülerin iç kiriş hareketli yük dağılım katsayılarını hesaplamak için kullanılan formüllerin geliştirilmesi için, köprü açıklığı ( $L$ ), kiriş aralığı ( $S$ ), tabliye kalınlığı ( $t_s$ ) ve kiriş rijitliğine ( $K_g$ ) 150'den fazla yapısal model kurulmuştur. Kurulan bu yapısal modeller, AASHTO hareketli yükleri altında analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen ve AASHTO formüllerinden hesaplanan hareketli yük dağılım katsayıları karşılaştırılmıştır (Tablo 4.1.1-3.). Bu karşılaştırmalar sonucunda AASHTO kiriş kesme kuvveti hareketli yük dağılım formüllerinden hesaplanan katsayıların, analizler sonucunda integral köprüler için elde edilmiş olan katsayılarla oldukça uyumlu olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla, integral köprü kiriş kesme kuvveti hareketli yük dağılımının hesabı için mevcut AASHTO formüllerinin integral köprüler içinde geçerli olduğu saptanmış ve yeni formüllerinin geliştirilmesine gerek görülmemiş.

**Tablo 4.1.1** İç kiriş hareketli yük dağılım katsayıları

PARAMETRE				DAĞILIM KATSAYISI					
<i>L</i> (m)	<i>S</i> (m)	<i>t<sub>s</sub></i> (m)	<i>GT</i>	MOMENT			KESME KUVVETİ		
				SEY	AASHTO	R	SEY	AASHTO	R
10	2.4	0.20	II	0.640	0.795	1.24	0.810	0.816	1.01
15	2.4	0.20	II	0.633	0.704	1.11	0.795	0.816	1.03
20	2.4	0.20	II	0.630	0.654	1.04	0.795	0.816	1.03
25	2.4	0.20	II	0.615	0.618	1.00	0.791	0.816	1.03
30	2.4	0.20	II	0.612	0.586	0.96	0.783	0.816	1.04
35	2.4	0.20	II	0.603	0.564	0.94	0.781	0.816	1.04
40	2.4	0.20	II	0.596	0.545	0.91	0.780	0.816	1.05
45	2.4	0.20	II	0.590	0.528	0.89	0.775	0.816	1.05
10	2.4	0.20	IV	0.640	0.907	1.42	0.810	0.816	1.01
15	2.4	0.20	IV	0.625	0.803	1.29	0.785	0.816	1.04
20	2.4	0.20	IV	0.625	0.744	1.19	0.784	0.816	1.04
25	2.4	0.20	IV	0.621	0.702	1.13	0.783	0.816	1.04
30	2.4	0.20	IV	0.615	0.666	1.08	0.779	0.816	1.05
35	2.4	0.20	IV	0.605	0.640	1.06	0.777	0.816	1.05
40	2.4	0.20	IV	0.597	0.619	1.04	0.775	0.816	1.05
45	2.4	0.20	IV	0.588	0.598	1.02	0.753	0.816	1.08
10	2.4	0.20	VI	0.638	0.973	1.53	0.781	0.816	1.04
15	2.4	0.20	VI	0.629	0.861	1.37	0.775	0.816	1.05
20	2.4	0.20	VI	0.628	0.798	1.27	0.786	0.816	1.04
25	2.4	0.20	VI	0.628	0.752	1.20	0.788	0.816	1.04
30	2.4	0.20	VI	0.624	0.713	1.14	0.789	0.816	1.03
35	2.4	0.20	VI	0.617	0.685	1.11	0.786	0.816	1.04
40	2.4	0.20	VI	0.617	0.662	1.07	0.784	0.816	1.04
45	2.4	0.20	VI	0.598	0.640	1.07	0.782	0.816	1.04
10	1.2	0.20	IV	0.366	0.553	1.51	0.510	0.512	1.00
15	1.2	0.20	IV	0.340	0.493	1.45	0.482	0.512	1.06
20	1.2	0.20	IV	0.341	0.460	1.35	0.479	0.512	1.07
25	1.2	0.20	IV	0.338	0.435	1.29	0.475	0.512	1.08
30	1.2	0.20	IV	0.333	0.414	1.24	0.469	0.512	1.09
35	1.2	0.20	IV	0.326	0.400	1.23	0.465	0.512	1.10
40	1.2	0.20	IV	0.320	0.387	1.21	0.467	0.512	1.10
45	1.2	0.20	IV	0.316	0.376	1.19	0.464	0.512	1.10
10	3.6	0.20	IV	0.920	1.226	1.33	1.080	1.087	1.01
15	3.6	0.20	IV	0.910	1.081	1.19	1.068	1.087	1.02
20	3.6	0.20	IV	0.900	1.001	1.11	1.088	1.087	1.00
25	3.6	0.20	IV	0.890	0.943	1.06	1.083	1.087	1.00
30	3.6	0.20	IV	0.860	0.892	1.04	1.080	1.087	1.01
35	3.6	0.20	IV	0.789	0.857	1.09	1.063	1.087	1.02
40	3.6	0.20	IV	0.806	0.827	1.03	1.069	1.087	1.02
45	3.6	0.20	IV	0.789	0.799	1.01	1.067	1.087	1.02

PARAMETRE				DAĞILIM KATSAYISI					
<i>L</i> (m)	<i>S</i> (m)	<i>t<sub>s</sub></i> (m)	<i>GT</i>	MOMENT			KESME KUVVETİ		
				SEY	AASHTO	R	SEY	AASHTO	R
15	1.2	0.20	IV	0.263	0.493	1.87	0.492	0.512	1.04
15	2.4	0.20	IV	0.490	0.803	1.64	0.772	0.816	1.06
15	3.6	0.20	IV	0.682	1.081	1.59	1.079	1.087	1.01
15	4.8	0.20	IV	0.946	1.342	1.42	1.312	1.332	1.02
30	1.2	0.20	IV	0.272	0.414	1.52	0.48	0.512	1.07
30	2.4	0.20	IV	0.524	0.666	1.27	0.794	0.816	1.03
30	3.6	0.20	IV	0.774	0.892	1.15	1.09	1.087	1.00
30	4.8	0.20	IV	1.005	1.104	1.10	1.308	1.332	1.02
40	1.2	0.20	IV	0.277	0.387	1.40	0.474	0.512	1.08
40	2.4	0.20	IV	0.518	0.619	1.19	0.790	0.816	1.03
40	3.6	0.20	IV	0.763	0.827	1.08	1.079	1.087	1.01
40	4.8	0.20	IV	0.979	1.022	1.04	1.310	1.332	1.02
40	1.2	0.20	II	0.323	0.345	1.07	0.476	0.512	1.08
40	2.4	0.20	II	0.524	0.545	1.04	0.729	0.816	1.12
40	3.6	0.20	II	0.720	0.726	1.01	1.009	1.087	1.08
40	4.8	0.20	II	0.909	0.894	0.98	1.290	1.332	1.03
40	3.6	0.15	VI	0.281	0.412	1.47	0.473	0.512	1.08
40	3.6	0.20	VI	0.504	0.662	1.31	0.796	0.816	1.03
40	3.6	0.25	VI	0.751	0.887	1.18	1.101	1.087	0.99
40	3.6	0.30	VI	0.986	1.097	1.11	1.319	1.332	1.01
15	2.4	0.15	IV	0.646	0.865	1.34	0.788	0.816	1.04
15	2.4	0.20	IV	0.621	0.803	1.29	0.774	0.816	1.05
15	2.4	0.25	IV	0.615	0.759	1.23	0.781	0.816	1.04
15	2.4	0.30	IV	0.608	0.725	1.19	0.787	0.816	1.04
30	2.4	0.15	IV	0.632	0.716	1.13	0.778	0.816	1.05
30	2.4	0.20	IV	0.615	0.666	1.08	0.779	0.816	1.05
30	2.4	0.25	IV	0.600	0.630	1.05	0.779	0.816	1.05
30	2.4	0.30	IV	0.591	0.603	1.02	0.780	0.816	1.05
45	2.4	0.15	IV	0.604	0.643	1.06	0.769	0.816	1.06
45	2.4	0.20	IV	0.587	0.598	1.02	0.770	0.816	1.06
45	2.4	0.25	IV	0.576	0.567	0.98	0.771	0.816	1.06
45	2.4	0.30	IV	0.567	0.543	0.96	0.774	0.816	1.05
30	1.2	0.15	IV	0.341	0.443	1.30	0.474	0.512	1.08
30	1.2	0.20	IV	0.333	0.414	1.24	0.465	0.512	1.10
30	1.2	0.25	IV	0.325	0.394	1.21	0.470	0.512	1.09
30	1.2	0.30	IV	0.318	0.378	1.19	0.471	0.512	1.09
30	3.6	0.15	IV	0.900	0.962	1.07	1.068	1.087	1.02
30	3.6	0.20	IV	0.860	0.892	1.04	1.080	1.087	1.01
30	3.6	0.25	IV	0.820	0.843	1.03	1.081	1.087	1.01
30	3.6	0.30	IV	0.788	0.805	1.02	1.080	1.087	1.01



**Tablo 4.1.3** İç giriş hareketli yük dağılım katsayıları

PARAMETRE				DAĞILIM KATSAYISI					
<i>L</i> (m)	<i>S</i> (m)	<i>t<sub>s</sub></i> (m)	<i>GT</i>	MOMENT			KESME KUVVETİ		
				SEY	AASHTO	R	SEY	AASHTO	R
15	2.4	0.2	I	0.622	0.659	1.06	0.794	0.816	1.03
15	2.4	0.2	II	0.632	0.704	1.11	0.795	0.816	1.03
15	2.4	0.2	III	0.638	0.756	1.18	0.771	0.816	1.06
15	2.4	0.2	IV	0.621	0.803	1.29	0.774	0.816	1.05
15	2.4	0.2	V	0.625	0.836	1.34	0.791	0.816	1.03
15	2.4	0.2	VI	0.621	0.861	1.39	0.775	0.816	1.05
30	2.4	0.2	I	0.594	0.550	0.93	0.778	0.816	1.05
30	2.4	0.2	II	0.612	0.586	0.96	0.783	0.816	1.04
30	2.4	0.2	III	0.614	0.628	1.02	0.775	0.816	1.05
30	2.4	0.2	IV	0.615	0.666	1.08	0.779	0.816	1.05
30	2.4	0.2	V	0.620	0.693	1.12	0.786	0.816	1.04
30	2.4	0.2	VI	0.624	0.713	1.14	0.789	0.816	1.03
45	2.4	0.2	I	0.569	0.495	0.87	0.771	0.816	1.06
45	2.4	0.2	II	0.588	0.528	0.90	0.775	0.816	1.05
45	2.4	0.2	III	0.588	0.565	0.96	0.775	0.816	1.05
45	2.4	0.2	IV	0.588	0.598	1.02	0.753	0.816	1.08
45	2.4	0.2	V	0.572	0.622	1.09	0.775	0.816	1.05
45	2.4	0.2	VI	0.598	0.640	1.07	0.782	0.816	1.04
30	1.2	0.2	I	0.313	0.348	1.11	0.471	0.512	1.09
30	1.2	0.2	II	0.326	0.369	1.13	0.473	0.512	1.08
30	1.2	0.2	III	0.331	0.393	1.19	0.474	0.512	1.08
30	1.2	0.2	IV	0.333	0.414	1.24	0.471	0.512	1.09
30	1.2	0.2	V	0.338	0.430	1.27	0.475	0.512	1.08
30	1.2	0.2	VI	0.342	0.442	1.29	0.475	0.512	1.08
30	3.6	0.2	I	0.779	0.731	0.94	1.063	1.087	1.02
30	3.6	0.2	II	0.831	0.782	0.94	1.081	1.087	1.01
30	3.6	0.2	III	0.855	0.840	0.98	1.085	1.087	1.00
30	3.6	0.2	IV	0.860	0.892	1.04	1.080	1.087	1.01
30	3.6	0.2	V	0.894	0.930	1.04	1.083	1.087	1.00
30	3.6	0.2	VI	0.893	0.958	1.07	1.088	1.087	1.00

 $R=AASHTO/SEY$

#### 4.1.1 MOMENT HAREKETLİ YÜK DAĞILIM FORMÜLLERİ İÇİN BİR KATSAYI GELİŞTİRİLMESİ

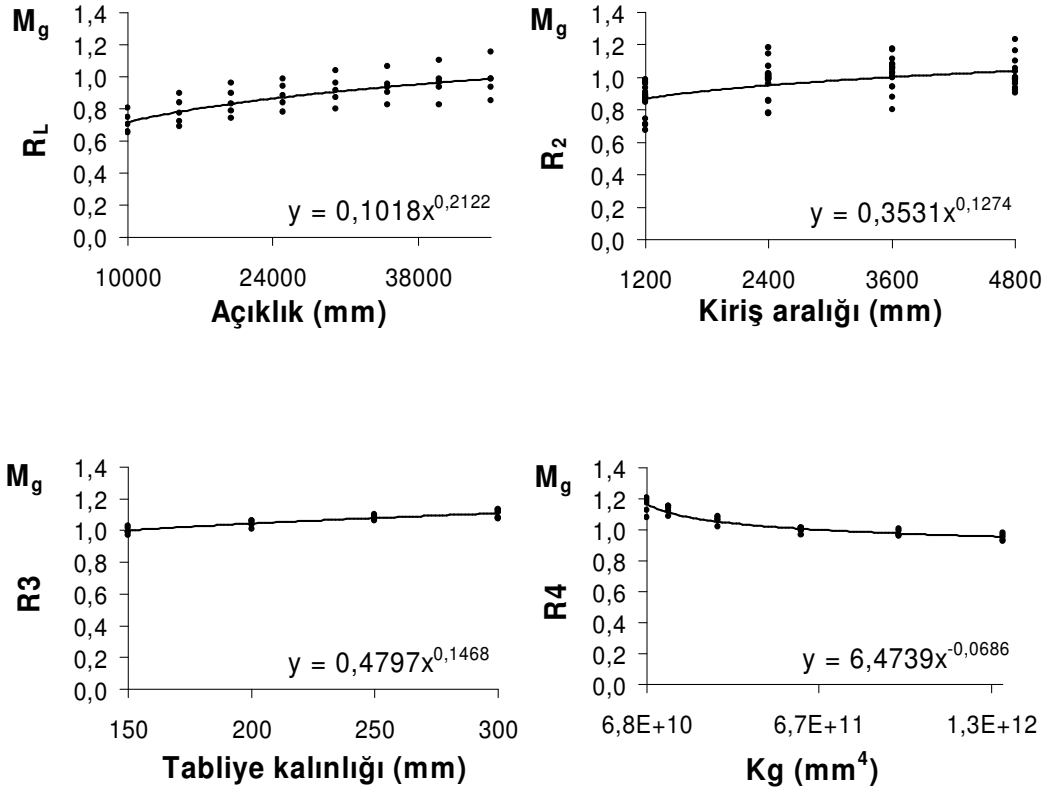
Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlardan, genleşme derzli köprüler için geliştirilmiş olan ve AASHTO tasarım standardında bu köprülerin tasarımı için kullanılan kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayılarının, integral köprülerin tasarımında da kullanılmasında bir sakınca olmadığı anlaşılmıştır. Buna rağmen, moment hareketli yük dağılım formüllerinin ya köprü üst yapı özelliklerine bağlı olarak bulunabilen bir katsayıyla çarpılarak kullanılması ya da yeniden düzenlenmesi gerektiği anlaşılmıştır. Bu amaçla, integral köprüler için yapılmış olan analiz sonuçlarından yararlanılarak moment hareketli yük dağılım formülleri için köprü açıklığına, kiriş aralığı ve rijitliğine aynı zaman da tabliye kalınlığına bağlı olarak, iki veya daha fazla tasarım şeridinin yüklenmesi durumu ve tek tasarım şeridinin yüklenmesi durumu için birer katsayı geliştirilmiştir.

##### 4.1.1.1 Katsayıların Geliştirilmesi İle İlgili Sayısal Yöntemin İrdelenmesi

AASHTO formüllerinin geliştirilmesinde, Zokaie (2000) her bir parametrenin  $a.x^b$  şeklinde bir üstel fonksiyonla tarif edileceğini kabul etmiştir. Burada x köprü üst yapısıyla ilgili parametre (açıklık, kiriş aralığı, kiriş rijitliği ve tabliye kalınlığı) a ve b ise bu parametrenin hareketli yük dağılımına etkisini gösteren sabit terimlerdir. İntegral köprülerde AASHTO formülleriyle birlikte kullanılacak olan katsayının belirlenmesinde benzer bir yaklaşım kullanılmıştır. Katsayı elde edilmeden önce, integral köprülerin analiz sonuçlarından elde edilmiş olan katsayılar, AASHTO formülünden elde edilmiş katsayılara oranlanarak, AASHTO formülüyle elde edilmiş olan katsayılardan ne oranda farklı oldukları elde edilmiştir. Bu oranlar, açıklığa ( $R_L$ ), kiriş aralığına ( $R_S$ ), kiriş rijitliğine ( $R_{Kg}$ ) ve tabliye kalınlığına ( $R_{ts}$ ) göre gruplandırılmıştır. Bu şekilde her bir oran o parametrenin bir fonksiyonu olarak tarif edilebilir. Daha sonra, köprü açıklığına göre elde edilmiş olan oranların ( $R_L$ ) köprü açıklığına göre çizilen grafiğinden geçirilen eğri ile analiz sonuçlarından elde edilen moment hareketli yük dağılım katsayılarının, AASHTO formüllerinden elde katsayılardan, ne oranda farklı olduklarını köprü açıklığının bir fonksiyonu olarak veren  $a_1.L^{b_1}$ , şeklinde bir denklem elde edilmiştir. Daha sonra, kiriş aralığı ile ilgili oranlar ( $R_S$ ), bir önceki basamakta elde edilen ve köprü açıklığının bir fonksiyonu olan  $R_1 = a_1.L^{b_1}$  denkleminde bulunan katsayılara oranlanmıştır. Bunun yapılmasındaki amaç, her bir parametrenin hareketli yük dağılım katsayısına etkisinin diğerinden bağımsız olarak değerlendirilemeyeceğidir. Bu şekilde bulunmuş olan yeni oranların ( $R_2$ ), kiriş aralığının bir fonksiyonu olarak çizilen grafiğinden geçirilen eğri ile analiz sonuçlarından elde edilen moment hareketli yük dağılım katsayılarının, AASHTO formüllerinden elde katsayılardan, ne oranda farklı olduklarını kiriş aralığının bir fonksiyonu olarak veren  $R_2 = a_2.S^{b_2}$  şeklinde diğer bir denklem elde edilmiştir. Benzer şekillerde,  $R_{ts}$  'nin  $R_1$  ve  $R_2$  'ye oranlanmasıyla elde edilen katsayıların  $R_3$  'ye göre çizilen grafiklerinden elde edilmiş olan eğrinin denklemi  $R_3 = a_3.ts^{b_3}$  olarak elde edilmiştir. Son olarak  $R_{Kg}$  'nin  $R_1$ ,  $R_2$  ve  $R_3$  'e oranlanmasıyla elde edilen katsayıların  $R_4$  'ye göre çizilen grafiklerinden elde edilmiş olan eğrinin denklemi  $R_4 = a_4.K_g^{b_4}$  olarak elde edilmiştir. Bu işlemlerden sonra,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  ve  $R_4$  'ün çarpımından, AASHTO kiriş momenti hareketli yük dağılım formüllerinin integral köprüler içinde kullanılabilir olmasını sağlayan düzeltme faktörü elde edilmiştir.

#### 4.1.1.2 İki Ya Da Daha Fazla Tasarım Şeridinin Yüklü Olması Durumu İçin Geliştirilmiş Olan Katsayı

Bölüm 4.1.1.1’de ifade edilmiş olanların ışığında iki yada daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumundaki sonuçlar göz önünde bulundurularak çizilmiş olan grafikler ve elde edilmiş olan eğri denklemleri aşağıda gösterildiği gibidir. İntegral köprülerde iki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumunda AASHTO kiriş momenti hareketli yük dağılım formülüyle (Eşitlik 4.1.1) birlikte kullanılacak olan katsayı ise 4.1.5 eşitliğindeki gibidir. İntegral köprü kiriş momenti için hareketli yük dağılım katsayıların hesaplanmasında, 4.1.1’de verilmiş olan AASHTO formülünden bulunan değerin, bu katsayı formülünden bulunan ifadeyle çarpılması gerekmektedir.

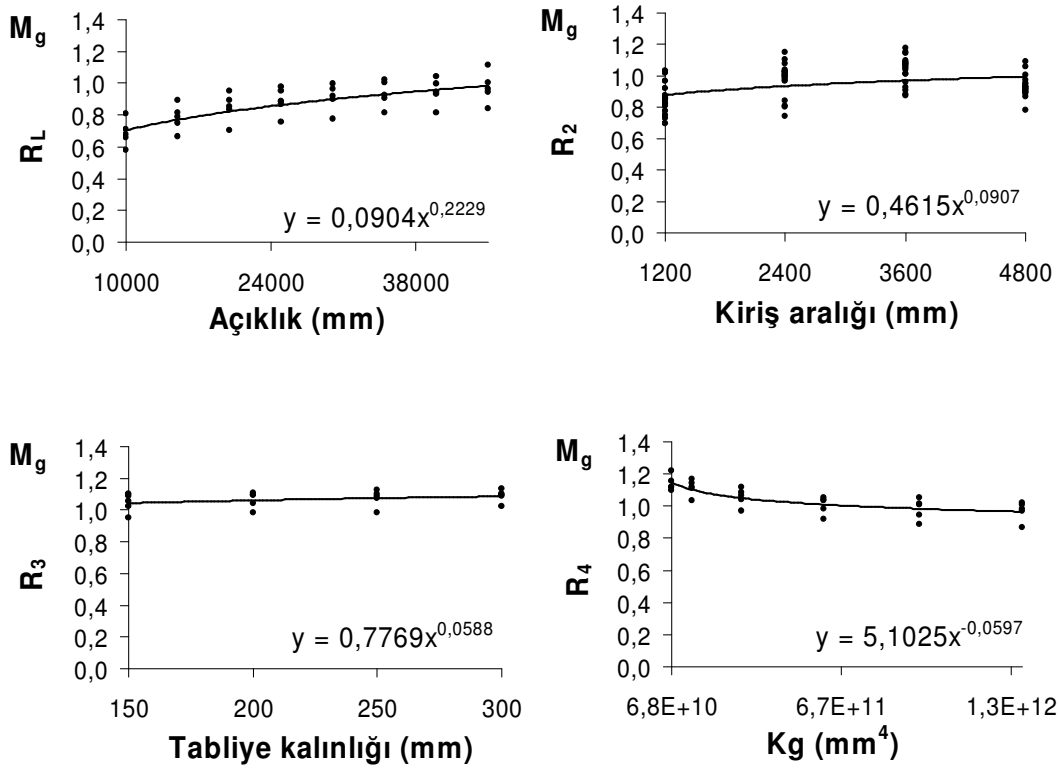


**Şekil 4.1.1** İki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumu için iç kiriş moment hareketli yük dağılım düzeltme katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  ve  $R_4$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

$$Y.K = 0.112 \frac{L^{0.21} . S^{0.13} . ts^{0.15}}{K_g^{0.07}} \quad (4.1.5)$$

#### 4.1.1.3 Tek Tasarım Şeridinin Yüklü Olması Durumu İçin Geliştirilmiş Olan Katsayı

Bölüm 4.1.1.1’de ifade edilmiş olanların ışığında tek tasarım şeridinin yüklü olması durumundaki sonuçlar göz önünde bulundurularak çizilmiş olan grafikler ve elde edilmiş olan eğri denklemleri aşağıda gösterildiği gibidir. İntegral köprülerde tek tasarım şeridinin yüklü olması durumunda AASHTO kiriş momenti hareketli yük dağılım formülüyle (Eşitlik 4.1.3) birlikte kullanılacak olan katsayı ise 4.1.6 eşitliğindeki gibidir. İntegral köprü kiriş momenti için hareketli yük dağılım katsayıların hesaplanmasında, 4.1.3’de verilmiş olan AASHTO formülünden bulunan değer, bu katsayı formülünden bulunan ifadeyle çarpılması gerekmektedir.



**Şekil 4.1.2** Tek tasarım şeridinin yüklü olması durumu için iç kiriş moment hareketli yük dağılım düzeltme katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  ve  $R_4$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

$$Y.K = 0.166 \frac{L^{0.22} . S^{0.09} . ts^{0.06}}{K_g^{0.06}} \quad (4.1.6)$$

#### 4.1.2 İNTEGRAL KÖPRÜLERDE KİRİŞ MOMENTİ HAREKETLİ YÜK DAĞILIMI İÇİN YENİ FORMÜLLERİN GELİŞTİRİLMESİ

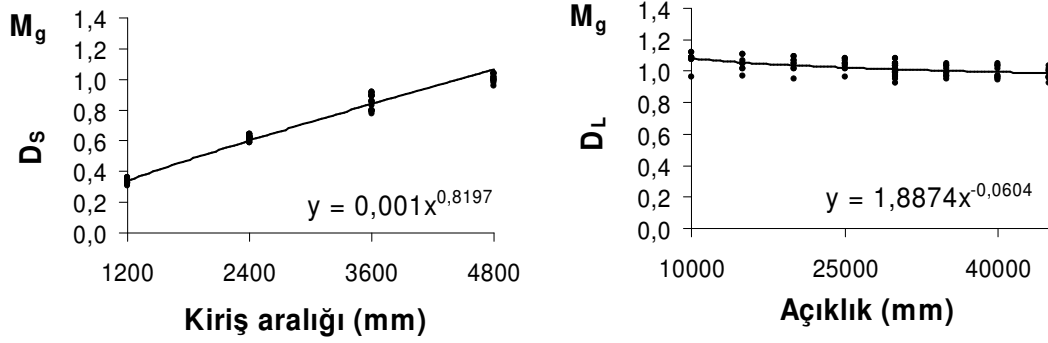
İntegral köprü modellerinin analiz sonuçlarından, integral köprü kiriş momenti hareketli yük dağılım katsayıları kiriş rijitliğinden ve tabliye kalınlığından ihmal edilebilir düzeyde etkilenmektedir. Bu sebepten dolayı, geliştirilecek olan yeni formülde bu parametrelerin yer almasına gerek görülmemiştir. Geliştirilen yeni formüllerde, integral köprülerde kiriş momenti hareketli yük dağılım katsayıları, köprü açıklığının ve kiriş aralığının bir fonksiyonu olarak hesaplanabilmektedir. Bu formüller integral köprülerde kiriş momenti hareketli yük dağılım katsayılarının daha pratik bir biçimde hesaplanmasını sağlamaktadır. Formüllerin elde edilmesiyle ilgili adımlar ve elde edilmiş olan formüller ilerleyen bölümlerde anlatılmıştır.

##### 4.1.2.1 Formüllerin Geliştirilmesi İle İlgili Sayısal Yöntemin İrdelenmesi

AASHTO formüllerinin geliştirilmesinde, Zokaie (2000) her bir parametrenin  $a.x^b$  şeklinde bir üstel fonksiyonla tarif ettiğinden önceki bölümlerde bahsedilmişti. İntegral köprülerde kiriş momenti hareketli yük dağılım katsayılarını veren formüller benzer bir yaklaşımla elde edilmişlerdir. İntegral köprülerin analizlerinden elde edilen kiriş momenti hareketli yük dağılım katsayılarının kiriş aralığına göre çizilmiş olan grafiklerinden elde edilen eğrinin denklemi  $D_s = a_1.S^{b_1}$  olarak tarif edilmiştir. Daha sonra, analizlerden bulunmuş olan hareketli yük dağılım katsayıları, her bir katsayı için  $D_s$  denkleminde elde edilmiş olan katsayılarla oranlanarak yeni katsayılar elde edilmiştir. Bunun yapılmasındaki amaç, kiriş aralığının veya açıklığın, hareketli yük dağılımı üzerindeki etkisinin bir diğerinden bağımsız olarak düşünülemeyeceğidir. Elde edilen bu katsayıların, açıklığın bir fonksiyonu olarak çizilen grafiğinden elde edilen eğrinin denklemi  $D_L = a_2.S^{b_2}$  olarak ifade edilmiştir. Elde edilen  $D_s$  ve  $D_L$  ifadelerinin çarpımından, integral köprülerin kiriş momentleri için yeni hareketli yük dağılım formülleri elde edilmiştir.

##### 4.1.2.2 İki Ya Da Daha Fazla Tasarım Şeridinin Yüklü Olması Durumu İçin Geliştirilmiş Olan Formül

Bölüm 4.1.2.1’de ifade edilmiş olanların ışığında iki yada daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumundaki sonuçlar göz önünde bulundurularak çizilmiş olan grafikler ve elde edilmiş olan eğri denklemleri aşağıda gösterildiği gibidir. İntegral köprülerde iki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumunda kiriş momenti hareketli yük dağılım formülü olarak kullanılması önerilen denklem 4.1.7’deki gibidir.

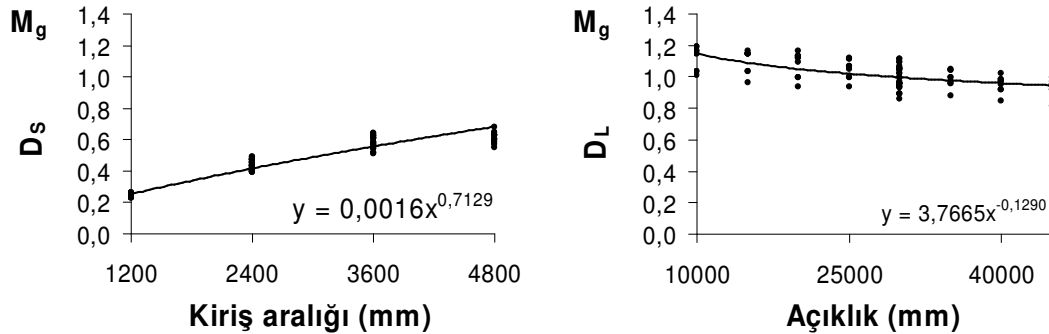


**Şekil 4.1.3** İki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumu için iç kiriş moment hareketli yük dağılım formülünün geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  ve  $R_4$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

$$Y.F = 0.002 \frac{S^{0.82}}{L^{0.06}} \quad (4.1.7)$$

#### 4.1.2.3 Tek Tasarım Şeridinin Yüklü Olması Durumu İçin Geliştirilmiş Olan Formül

Bölüm 4.1.2.1'de ifade edilmiş olanların ışığında tek tasarım şeridinin yüklü olması durumundaki sonuçlar göz önünde bulundurularak çizilmiş olan grafikler ve elde edilmiş olan eğri denklemleri aşağıda gösterildiği gibidir. İntegral köprülerde tek tasarım şeridinin yüklü olması durumunda kiriş momenti hareketli yük dağılım formülü olarak kullanılması önerilen denklem 4.1.8'deki gibidir.



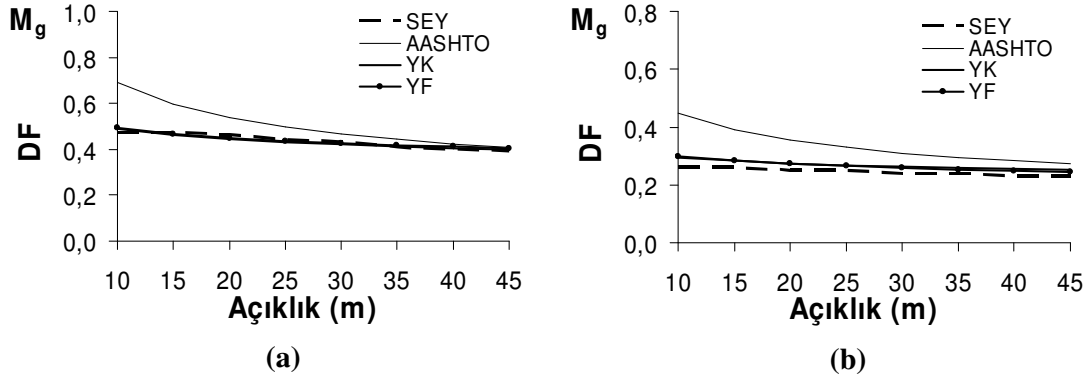
**Şekil 4.1.4** Tek tasarım şeridinin yüklü olması durumu için iç kiriş moment hareketli yük dağılım formülünün geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  ve  $R_4$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

$$Y.F = 0.006 \frac{S^{0.72}}{L^{0.13}} \quad (4.1.8)$$

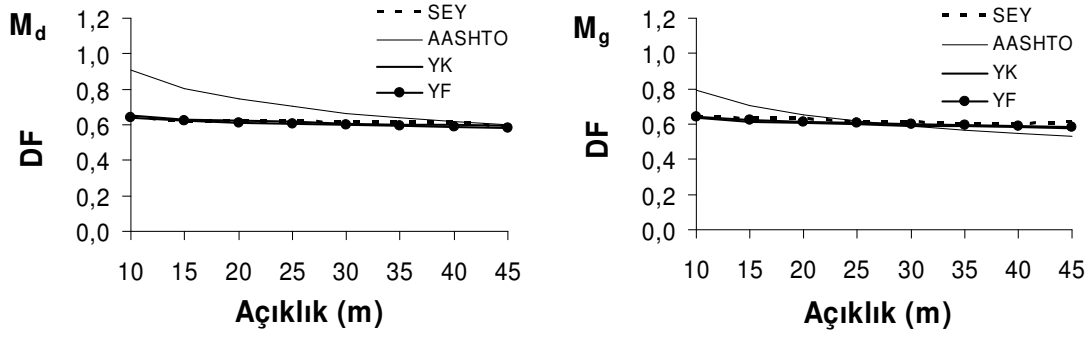
#### 4.1.3 YENİ KATSAYI VE FORMÜLLERİN, ANALİZ SONUÇLARI VE AASHTO FORMÜLLERİYLE KARŞILAŞTIRILMASI

Sonlu elemanlar yöntemi (SEY) kullanılarak ve AASHTO formüllerinden elde edilen sonuçlarla, integral köprüler için geliştirilmiş olan yeni formül (YF) ve yeni katsayı ile çarpılmış AASHTO formülünden elde edilen sonuçlar (YK) Şekil 4.1.5-12'deki grafiklerde karşılaştırılmıştır.

Analiz sonuçları, AASHTO formülleri ve geliştirilmiş olan düzeltme katsayıları ile yeni formüller kullanılarak hesaplanan hareketli yük dağılım katsayıları, köprü açıklığının bir fonksiyonu olarak Şekil 4.1.5 ve 4.1.6'da sırasıyla tek ve iki ya da daha fazla yüklü tasarım şeridi durumu için gösterilmiştir. Grafiklerden açıkça anlaşılabileceği gibi, AASHTO formülleri, integral köprülerin tasarımlarında, kiriş momenti hareketli yük dağılım katsayılarının hesaplanmasında özellikle kısa açıklıklı köprüler için aşırı emniyetli sonuçlar vermektedir. Ancak, yeni geliştirilmiş düzeltme katsayıları ve formüller, kiriş momenti hareketli yük dağılım katsayılarının daha doğru bir şekilde hesaplanabilmesini sağlamaktadır. Örneğin, 2.4 m kiriş aralığına, IV. tip kirişe ve 0.2 m tabliye kalınlığına sahip 15 m açıklıklı ve tek tasarım şeridi yüklenmiş olarak analiz edilmiş bir integral köprü için, analizlerden elde edilmiş hareketli yük dağılım katsayısı 0.460 iken, aynı özelliklere sahip köprü için AASHTO formüllerinden hesaplanmış katsayı 0.597 olmasına rağmen, yeni katsayı ve formül kullanılarak hesaplanmış olan katsayılar sırasıyla, 0.459 ve 0.467'dir. Analiz sonuçlarından yararlanarak integral köprü kiriş momenti için elde edilmiş olan hareketli yük dağılım katsayısıyla, AASHTO formüllerinden elde edilmiş katsayı arasındaki fark yaklaşık % 30 olmasına rağmen, yeni katsayı veya formülün kullanılması durumunda aradaki fark sırasıyla, sadece % 0.2 ve % 1.5 olmaktadır.

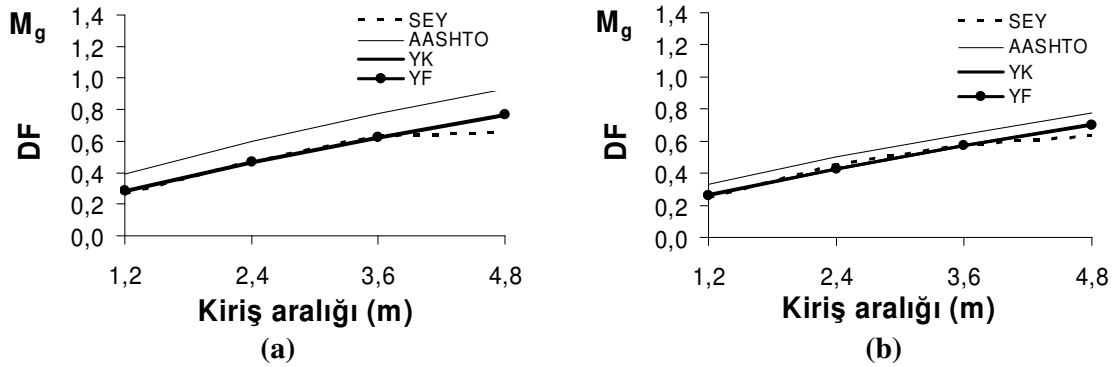


Şekil 4.1.5 Moment ( $M_g$ ) dağılım katsayısı (DF) – Açıklık; tek yüklü tasarım şeridi durumu, IV. tip kiriş, 0.2 m tabliye kalınlığı ve (a) 2.4 m. (b) 1.2 m. kiriş aralığı için.



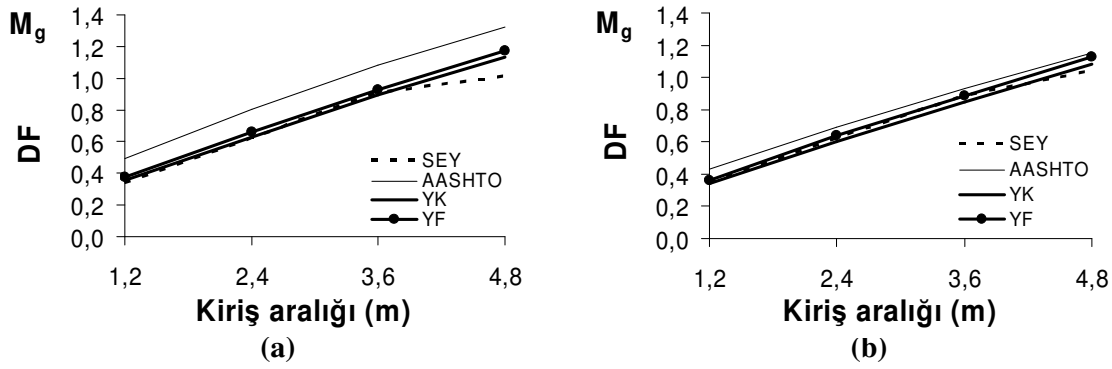
**Şekil 4.1.6** Moment ( $M_g$ ) dağılım katsayısı (DF) – Açıklık; iki yada daha fazla yüklü tasarım şeridi durumu, 2.4 m kiriş aralığı, 0.2 m tabliye kalınlığı ve (a) IV. tip kiriş (b) VI. tip kiriş için.

Analiz sonuçları, AASHTO formülleri ve geliştirilmiş olan düzeltme katsayıları ile yeni formüller kullanılarak hesaplanan hareketli yük dağılım katsayıları, kiriş aralığının bir fonksiyonu olarak Şekil 4.1.7 ve 4.1.8’de sırasıyla tek ve iki ya da daha fazla yüklü tasarım şeridi durumu için gösterilmiştir. Grafiklerden açıkça anlaşılabileceği gibi, AASHTO formülleri, integral köprülerin tasarımlarında, kiriş momenti için hareketli yük dağılım katsayılarının hesaplanmasında özellikle kısa açıklığa ve geniş kiriş aralığına sahip köprüler için aşırı emniyetli sonuçlar verirken, yeni geliştirilmiş katsayı ve formüller, hareketli yük dağılım katsayılarının daha doğru bir şekilde hesaplanabilmesini sağlamaktadır. Örneğin, 15 m açıklığa, IV. tip kirişe, 0.2 m tabliye kalınlığına ve 3.6 m kiriş aralığına sahip tek tasarım şeridi yüklenmiş olarak analiz edilmiş bir integral köprü için, analizlerden ve AASHTO formüllerinden hesaplanmış hareketli yük dağılım katsayıları sırasıyla 0.620 ve 0.774 iken, yeni düzeltme katsayısı ve formül kullanılarak hesaplanmış olan katsayılar sırasıyla, 0.618 ve 0.625’ dir. Analiz sonuçlarından yararlanarak integral köprü kiriş momenti için elde edilmiş olan hareketli yük dağılım katsayısıyla, AASHTO formüllerinden elde edilmiş katsayı arasındaki fark yaklaşık % 25 olmasına rağmen, yeni düzeltme katsayısı veya formülün kullanılması durumunda sırasıyla, sadece % 0.3 ve % 0.8 olmaktadır.



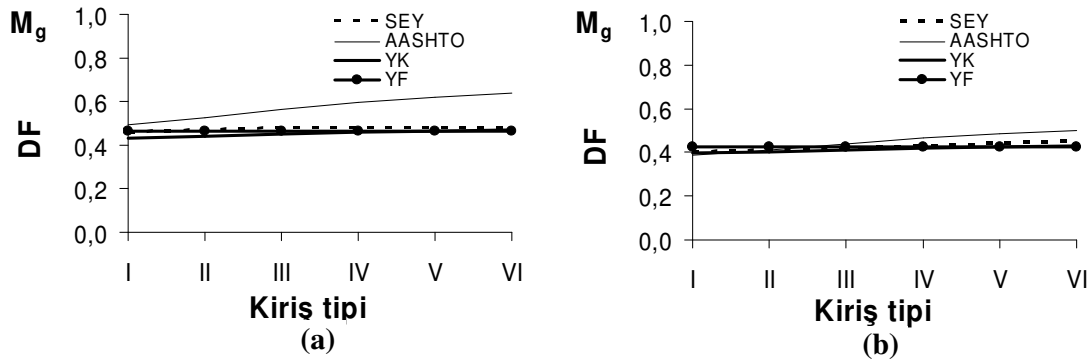
**Şekil 4.1.7** Moment ( $M_g$ ) dağılım katsayısı (DF) – Açıklık; tek yüklü tasarım şeridi durumu, 0.2 m tabliye kalınlığı ve (a) 15 m açıklık ve IV. tip kiriş (b) 30 m. açıklık ve VI. tip kiriş için.



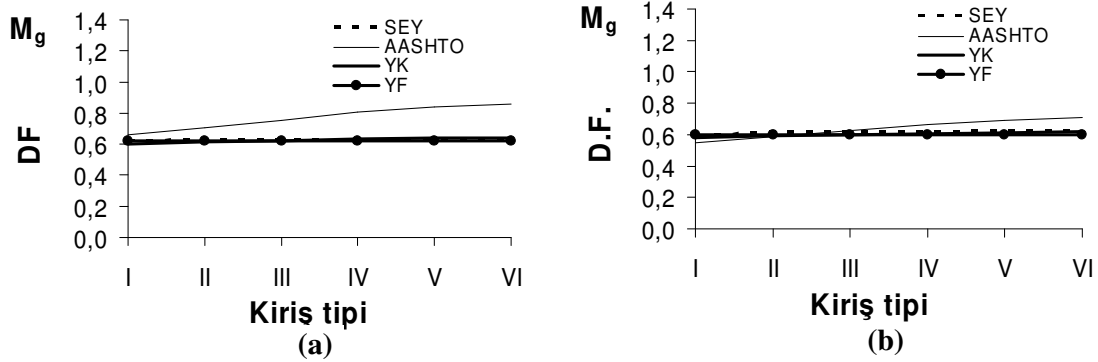


**Şekil 4.1.8** Moment ( $M_g$ ) dağılım katsayısı (DF) – Açıklık; iki ya da daha fazla yüklü tasarım şeridi durumu, 0.2 m tabliye kalınlığı ve (a) 15 m açıklık ve IV. tip kiriş (b) 30 m. açıklık ve VI. tip kiriş için.

Analiz sonuçları, AASHTO formülleri ve geliştirilmiş olan düzeltme katsayıları ile yeni formüller kullanılarak hesaplanan hareketli yük dağılım katsayıları, kiriş tipinin bir fonksiyonu olarak Şekil 4.1.9 ve 4.1.10’da sırasıyla tek ve iki ya da daha fazla yüklü tasarım şeridi durumu için gösterilmiştir. Grafiklerden açıkça anlaşılabileceği gibi, AASHTO formülleri, integral köprüler için kiriş momenti hareketli yük dağılım katsayılarının hesaplanmasında özellikle kısa açıklığa ve yüksek rijitlikli kirişlere sahip köprüler için aşırı emniyetli sonuçlar verirken, yeni geliştirilmiş düzeltme katsayısı ve formüller, bu katsayıların daha doğru bir şekilde hesaplanabilmesini sağlamaktadır. Örneğin, 15 m açıklığa, VI. tip kirişe, 0.2 m tabliye kalınlığına ve 2.4 m kiriş aralığına sahip iki ya da daha fazla tasarım şeridi yüklenmiş olarak analiz edilmiş bir integral köprü için, analizlerden ve AASHTO formüllerinden hesaplanmış hareketli yük dağılım katsayıları sırasıyla 0.620 ve 0.861 iken, yeni düzeltme katsayısı ve formül kullanılarak hesaplanmış olan katsayılar sırasıyla, 0.642 ve 0.622’ dir. Analiz sonuçlarından yararlanarak integral köprü kiriş momenti için elde edilmiş olan hareketli yük dağılım katsayısıyla, AASHTO formüllerinden elde edilmiş katsayı arasındaki fark yaklaşık % 39 olmasına rağmen, yeni düzeltme katsayısı veya formülün kullanılması durumunda sırasıyla, sadece % 3 ve % 0.3 olmaktadır.

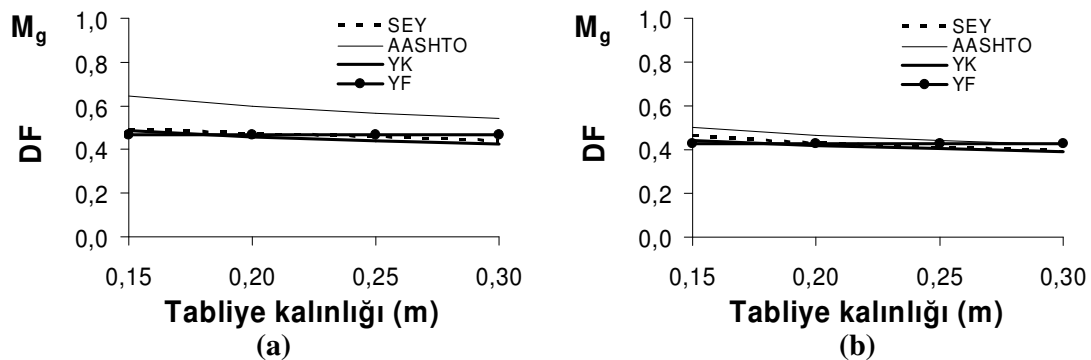


**Şekil 4.1.9** Moment ( $M_g$ ) dağılım katsayısı (DF) – kiriş tipi; tek yüklü tasarım şeridi durumu, 2.4 m kiriş aralığı, 0.2 m tabliye kalınlığı ve (a) 15 m (b) 30 m. açıklık için.

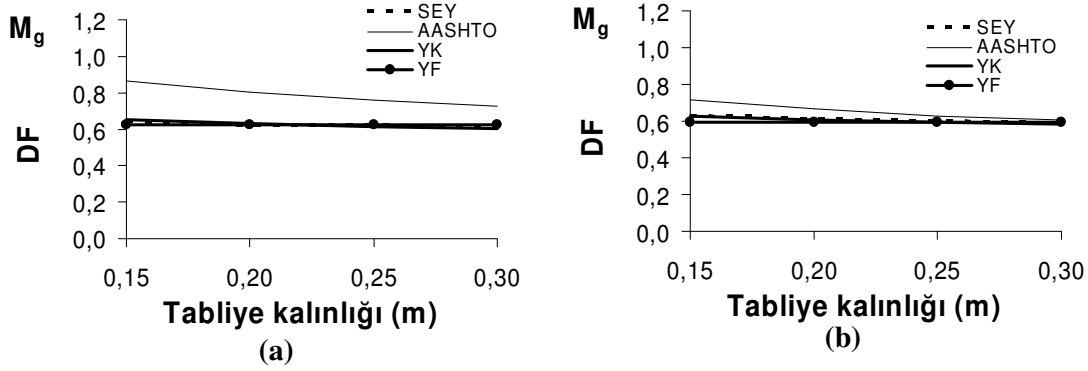


**Şekil 4.1.10** Moment ( $M_g$ ) dağılım katsayısı (DF) – kiriş tipi; iki ya da daha fazla yüklü tasarım şeridi durumu, 2.4 m kiriş aralığı, 0.2 m tabliye kalınlığı ve (a) 15 m (b) 30 m. açıklık için.

Analiz sonuçları, AASHTO formülleri ve geliştirilmiş olan düzeltme katsayıları ile yeni formüller kullanılarak hesaplanan hareketli yük dağılım katsayıları, tabliye kalınlığının bir fonksiyonu olarak Şekil 4.1.11 ve 4.1.12’de sırasıyla tek ve iki ya da daha fazla yüklü tasarım şeridi durumu için gösterilmiştir. Grafiklerden açıkça anlaşılabileceği gibi, AASHTO formülleri, integral köprülerin tasarımlarında, kiriş momenti için hareketli yük dağılım katsayılarının hesaplanmasında özellikle kısa açıklığa ve düşük tabliye kalınlığına sahip köprüler için aşırı emniyetli sonuçlar verirken, yeni geliştirilmiş katsayı ve formüller, bu katsayıların daha doğru bir şekilde hesaplanabilmesini sağlamaktadır. Örneğin, 15 m açıklığa, VI. tip kirişe, 0.25 m tabliye kalınlığına ve 2.4 m kiriş aralığına sahip iki ya da daha fazla tasarım şeridi yüklenmiş olarak analiz edilmiş bir integral köprü için, analizlerden ve AASHTO formüllerinden hesaplanmış hareketli yük dağılım katsayıları sırasıyla 0.620 ve 0.759 iken, yeni düzeltme katsayısı ve formül kullanılarak hesaplanmış olan katsayılar sırasıyla, 0.617 ve 0.622’dir. Analiz sonuçlarından yararlanarak integral köprü kiriş momenti için elde edilmiş olan hareketli yük dağılım katsayısıyla, AASHTO formüllerinden elde edilmiş katsayı arasındaki fark yaklaşık % 22 olmasına rağmen, yeni katsayı veya formülün kullanılması durumunda sırasıyla, sadece % 0.5 ve % 0.3 olmaktadır.



**Şekil 4.1.11** Moment ( $M_g$ ) dağılım katsayısı (DF) – tabliye kalınlığı; tek yüklü tasarım şeridi durumu, 2.4 m kiriş aralığı, IV. tip kirişe ve (a) 15 m (b) 30 m. açıklık için.



**Şekil 4.1.12** Moment ( $M_g$ ) dağılım katsayısı (DF) – tabliye kalınlığı; iki ya da daha fazla yüklü tasarım şeridi durumu, 2.4 m kiriş aralığı, IV. tip kirişe ve (a) 15 m (b) 30 m. açıklık için.

## 4.2. DIŞ KİRİŞLER İÇİN HAREKETLİ YÜK DAĞILIM FORMÜLLERİ NİN GELİŞTİRİLMESİ

Köprülerde iki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumunda dış kiriş momenti hareketli yük dağılım katsayısı, AASHTO’da iç kiriş momenti hareketli yük dağılım formüllünden (Eşitlik 4.1.1) hesaplanan katsayı ile bariyer iç yüzünden dış kiriş ağırlık merkezine kadar olan mesafeye ( $d_e$ ) bağlı bir katsayının ( $e$ ) çarpımından elde edilir.

$$e = 0.77 + \frac{d_e}{2800} \quad (4.2.1)$$

Köprülerde iki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumunda dış kiriş kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayısı da benzer şekilde, AASHTO’da iç kiriş kesme kuvveti hareketli yük dağılım formüllünden (Eşitlik 4.1.2) hesaplanan katsayı ile  $d_e$ ’ye bağlı bir katsayının ( $e$ ) çarpımından elde edilir.

$$e = 0.6 + \frac{d_e}{3000} \quad (4.2.2)$$

Tek tasarım şeridinin yüklü olması durumunda ise, dış kiriş momenti ve kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayısı, lever kuralı ile hesaplanmaktadır.

İntegral köprülerin dış kiriş hareketli yük dağılım katsayılarını hesaplamak için kullanılan formüllerin geliştirilmesi için, köprü açıklığı ( $L$ ), kiriş aralığı ( $S$ ), tabliye kalınlığı ( $t_s$ ), kiriş rijitliğine ( $K_g$ ) ve köprü tabliyesinin ankastre kısmının uzunluğuna ( $d_e$ ) bağlı olacak şekilde 120’den fazla yapısal model kurulmuştur. Kurulan bu yapısal modeller, AASHTO hareketli yükleri altında analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen ve AASHTO formüllerinden hesaplanan hareketli yük dağılım katsayıları karşılaştırılmıştır (Tablo 4.2.1-3.). İntegral köprülerde dış kiriş hareketli yük dağılım katsayılarının hesaplanabilmesi için iki farklı metod geliştirilmiştir. Bunlardan ilki, mevcut AASHTO formülleriyle kullanılan ve 4.2.1 ve 4.2.2 eşitliklerinde tarif edilen katsayıların ( $e$ ) integral köprüler için yeniden düzenlenmesidir. İkincisi ise, mevcut AASHTO formüllerinden bağımsız olarak integral köprülerin dış kirişleri için hareketli yük dağılım katsayılarını doğrudan doğruya hesaplayabilen AASHTO’dan bağımsız bir formül geliştirilmesidir. Bu katsayı ve formüllerin geliştirilmesi ile ilgili detaylar ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

**Tablo 4.2.1** Dış kiriş hareketli yük dağılım katsayıları

PARAMETRE					DAĞILIM KATSAYILARI					
L (m)	S (m)	d <sub>e</sub> (m)	GT	t <sub>s</sub> (m)	MOMENT			KESME KUVVETİ		
					SEY	AASHTO	R	SEY	AASHTO	R
30	2.4	-0.3	3	0.2	<b>0.418</b>	<b>0.416</b>	<b>1.00</b>	<b>0.275</b>	<b>0.408</b>	<b>1.48</b>
30	2.4	0.3	3	0.2	<b>0.526</b>	<b>0.551</b>	<b>1.05</b>	<b>0.494</b>	<b>0.571</b>	<b>1.16</b>
30	2.4	0.9	3	0.2	<b>0.637</b>	<b>0.685</b>	<b>1.08</b>	<b>0.706</b>	<b>0.734</b>	<b>1.04</b>
30	2.4	1.5	3	0.2	<b>0.754</b>	<b>0.820</b>	<b>1.09</b>	<b>0.898</b>	<b>0.898</b>	<b>1.00</b>
30	2.4	-0.3	3	0.3	<b>0.445</b>	<b>0.378</b>	<b>0.85</b>	<b>0.323</b>	<b>0.408</b>	<b>1.26</b>
30	2.4	0.3	3	0.3	<b>0.545</b>	<b>0.500</b>	<b>0.92</b>	<b>0.534</b>	<b>0.571</b>	<b>1.07</b>
30	2.4	0.9	3	0.3	<b>0.640</b>	<b>0.622</b>	<b>0.97</b>	<b>0.771</b>	<b>0.734</b>	<b>0.95</b>
30	2.4	1.5	3	0.3	<b>0.734</b>	<b>0.744</b>	<b>1.01</b>	<b>0.959</b>	<b>0.898</b>	<b>0.94</b>
30	3.6	-0.3	3	0.2	<b>0.509</b>	<b>0.557</b>	<b>1.09</b>	<b>0.420</b>	<b>0.544</b>	<b>1.29</b>
30	3.6	0.3	3	0.2	<b>0.608</b>	<b>0.737</b>	<b>1.21</b>	<b>0.649</b>	<b>0.761</b>	<b>1.17</b>
30	3.6	0.9	3	0.2	<b>0.712</b>	<b>0.917</b>	<b>1.29</b>	<b>0.875</b>	<b>0.978</b>	<b>1.12</b>
30	3.6	1.5	3	0.2	<b>0.822</b>	<b>1.097</b>	<b>1.33</b>	<b>1.062</b>	<b>1.196</b>	<b>1.13</b>
30	3.6	-0.3	3	0.3	<b>0.550</b>	<b>0.504</b>	<b>0.92</b>	<b>0.461</b>	<b>0.544</b>	<b>1.18</b>
30	3.6	0.3	3	0.3	<b>0.653</b>	<b>0.667</b>	<b>1.02</b>	<b>0.674</b>	<b>0.761</b>	<b>1.13</b>
30	3.6	0.9	3	0.3	<b>0.813</b>	<b>0.829</b>	<b>1.02</b>	<b>0.929</b>	<b>0.978</b>	<b>1.05</b>
30	3.6	1.5	3	0.3	<b>0.887</b>	<b>0.992</b>	<b>1.12</b>	<b>1.119</b>	<b>1.196</b>	<b>1.07</b>
20	1.2	-0.3	3	0.15	<b>0.220</b>	<b>0.308</b>	<b>1.40</b>	<b>0.203</b>	<b>0.261</b>	<b>1.28</b>
20	1.2	0.3	3	0.15	<b>0.318</b>	<b>0.408</b>	<b>1.28</b>	<b>0.356</b>	<b>0.365</b>	<b>1.02</b>
20	1.2	0.9	3	0.15	<b>0.425</b>	<b>0.508</b>	<b>1.19</b>	<b>0.542</b>	<b>0.469</b>	<b>0.87</b>
20	1.2	1.5	3	0.15	<b>0.550</b>	<b>0.607</b>	<b>1.10</b>	<b>0.710</b>	<b>0.573</b>	<b>0.81</b>
20	1.2	-0.3	3	0.2	<b>0.222</b>	<b>0.288</b>	<b>1.30</b>	<b>0.206</b>	<b>0.261</b>	<b>1.26</b>
20	1.2	0.3	3	0.2	<b>0.319</b>	<b>0.382</b>	<b>1.20</b>	<b>0.359</b>	<b>0.365</b>	<b>1.02</b>
20	1.2	0.9	3	0.2	<b>0.422</b>	<b>0.475</b>	<b>1.12</b>	<b>0.551</b>	<b>0.469</b>	<b>0.85</b>
20	1.2	1.5	3	0.2	<b>0.536</b>	<b>0.568</b>	<b>1.06</b>	<b>0.719</b>	<b>0.573</b>	<b>0.80</b>
40	1.2	-0.3	6	0.15	<b>0.238</b>	<b>0.292</b>	<b>1.23</b>	<b>0.200</b>	<b>0.261</b>	<b>1.30</b>
40	1.2	0.3	6	0.15	<b>0.321</b>	<b>0.387</b>	<b>1.20</b>	<b>0.363</b>	<b>0.365</b>	<b>1.01</b>
40	1.2	0.9	6	0.15	<b>0.415</b>	<b>0.481</b>	<b>1.16</b>	<b>0.546</b>	<b>0.469</b>	<b>0.86</b>
40	1.2	1.5	6	0.15	<b>0.522</b>	<b>0.576</b>	<b>1.10</b>	<b>0.719</b>	<b>0.573</b>	<b>0.80</b>
40	1.2	-0.3	6	0.2	<b>0.245</b>	<b>0.273</b>	<b>1.11</b>	<b>0.210</b>	<b>0.261</b>	<b>1.24</b>
40	1.2	0.3	6	0.2	<b>0.331</b>	<b>0.361</b>	<b>1.09</b>	<b>0.363</b>	<b>0.365</b>	<b>1.00</b>
40	1.2	0.9	6	0.2	<b>0.425</b>	<b>0.450</b>	<b>1.06</b>	<b>0.549</b>	<b>0.469</b>	<b>0.85</b>
40	1.2	1.5	6	0.2	<b>0.528</b>	<b>0.538</b>	<b>1.02</b>	<b>0.733</b>	<b>0.573</b>	<b>0.78</b>
20	2.4	-0.3	4	0.2	<b>0.385</b>	<b>0.493</b>	<b>1.28</b>	<b>0.248</b>	<b>0.408</b>	<b>1.65</b>
20	2.4	0.3	4	0.2	<b>0.479</b>	<b>0.653</b>	<b>1.36</b>	<b>0.459</b>	<b>0.571</b>	<b>1.24</b>
20	2.4	0.9	4	0.2	<b>0.578</b>	<b>0.812</b>	<b>1.40</b>	<b>0.646</b>	<b>0.734</b>	<b>1.14</b>
20	2.4	1.5	4	0.2	<b>0.697</b>	<b>0.971</b>	<b>1.39</b>	<b>0.826</b>	<b>0.898</b>	<b>1.09</b>
20	3.6	-0.3	4	0.2	<b>0.489</b>	<b>0.664</b>	<b>1.36</b>	<b>0.374</b>	<b>0.544</b>	<b>1.45</b>
20	3.6	0.3	4	0.2	<b>0.574</b>	<b>0.878</b>	<b>1.53</b>	<b>0.599</b>	<b>0.761</b>	<b>1.27</b>
20	3.6	0.9	4	0.2	<b>0.666</b>	<b>1.093</b>	<b>1.64</b>	<b>0.809</b>	<b>0.978</b>	<b>1.21</b>
20	3.6	1.5	4	0.2	<b>0.764</b>	<b>1.307</b>	<b>1.71</b>	<b>0.980</b>	<b>1.196</b>	<b>1.22</b>
40	2.4	-0.3	4	0.2	<b>0.422</b>	<b>0.410</b>	<b>0.97</b>	<b>0.278</b>	<b>0.408</b>	<b>1.47</b>
40	2.4	0.3	4	0.2	<b>0.482</b>	<b>0.543</b>	<b>1.13</b>	<b>0.505</b>	<b>0.571</b>	<b>1.13</b>
40	2.4	0.9	4	0.2	<b>0.631</b>	<b>0.676</b>	<b>1.07</b>	<b>0.700</b>	<b>0.734</b>	<b>1.05</b>
40	2.4	1.5	4	0.2	<b>0.736</b>	<b>0.808</b>	<b>1.10</b>	<b>0.889</b>	<b>0.898</b>	<b>1.01</b>

**Tablo 4.2.2** Dış kiriş hareketli yük dağılım katsayıları

PARAMETRE					DAĞILIM KATSAYILARI					
L (m)	S (m)	d <sub>e</sub> (m)	GT	t <sub>s</sub> (m)	MOMENT			KESME KUVVETİ		
					SEY	AASHTO	R	SEY	AASHTO	R
40	3.6	-0.3	4	0.2	0.558	<b>0.548</b>	<b>0.98</b>	<b>0.422</b>	<b>0.544</b>	<b>1.29</b>
40	3.6	0.3	4	0.2	0.609	<b>0.725</b>	<b>1.19</b>	<b>0.650</b>	<b>0.761</b>	<b>1.17</b>
40	3.6	0.9	4	0.2	0.711	<b>0.903</b>	<b>1.27</b>	<b>0.840</b>	<b>0.978</b>	<b>1.17</b>
40	3.6	1.5	4	0.2	0.812	<b>1.080</b>	<b>1.33</b>	<b>1.053</b>	<b>1.196</b>	<b>1.14</b>
20	1.2	-0.3	3	0.15	0.238	<b>0.239</b>	<b>1.00</b>	<b>0.204</b>	<b>0.261</b>	<b>1.28</b>
20	1.2	0.3	3	0.15	0.344	<b>0.317</b>	<b>0.92</b>	<b>0.357</b>	<b>0.365</b>	<b>1.02</b>
20	1.2	0.9	3	0.15	0.460	<b>0.394</b>	<b>0.86</b>	<b>0.542</b>	<b>0.469</b>	<b>0.86</b>
20	1.2	1.5	3	0.15	0.595	<b>0.471</b>	<b>0.79</b>	<b>0.710</b>	<b>0.573</b>	<b>0.81</b>
20	2.4	-0.3	3	0.15	0.397	<b>0.363</b>	<b>0.91</b>	<b>0.246</b>	<b>0.408</b>	<b>1.66</b>
20	2.4	0.3	3	0.15	0.521	<b>0.481</b>	<b>0.92</b>	<b>0.461</b>	<b>0.571</b>	<b>1.24</b>
20	2.4	0.9	3	0.15	0.619	<b>0.598</b>	<b>0.97</b>	<b>0.657</b>	<b>0.734</b>	<b>1.12</b>
20	2.4	1.5	3	0.15	0.754	<b>0.716</b>	<b>0.95</b>	<b>0.837</b>	<b>0.898</b>	<b>1.07</b>
40	1.2	-0.3	6	0.15	0.238	<b>0.214</b>	<b>0.90</b>	<b>0.183</b>	<b>0.261</b>	<b>1.42</b>
40	1.2	0.3	6	0.15	0.321	<b>0.283</b>	<b>0.88</b>	<b>0.363</b>	<b>0.365</b>	<b>1.01</b>
40	1.2	0.9	6	0.15	0.415	<b>0.353</b>	<b>0.85</b>	<b>0.546</b>	<b>0.469</b>	<b>0.86</b>
40	1.2	1.5	6	0.15	0.522	<b>0.422</b>	<b>0.81</b>	<b>0.719</b>	<b>0.573</b>	<b>0.80</b>
40	2.4	-0.3	6	0.15	0.409	<b>0.323</b>	<b>0.79</b>	<b>0.260</b>	<b>0.408</b>	<b>1.57</b>
40	2.4	0.3	6	0.15	0.520	<b>0.428</b>	<b>0.82</b>	<b>0.474</b>	<b>0.571</b>	<b>1.21</b>
40	2.4	0.9	6	0.15	0.611	<b>0.533</b>	<b>0.87</b>	<b>0.666</b>	<b>0.734</b>	<b>1.10</b>
40	2.4	1.5	6	0.15	0.732	<b>0.637</b>	<b>0.87</b>	<b>0.853</b>	<b>0.898</b>	<b>1.05</b>
20	2.4	-0.3	3	0.2	0.381	<b>0.477</b>	<b>1.25</b>	<b>0.258</b>	<b>0.408</b>	<b>1.58</b>
20	2.4	0.3	3	0.2	0.476	<b>0.632</b>	<b>1.33</b>	<b>0.456</b>	<b>0.571</b>	<b>1.25</b>
20	2.4	0.9	3	0.2	0.582	<b>0.786</b>	<b>1.35</b>	<b>0.624</b>	<b>0.734</b>	<b>1.18</b>
20	2.4	1.5	3	0.2	0.697	<b>0.940</b>	<b>1.35</b>	<b>0.788</b>	<b>0.898</b>	<b>1.14</b>
20	2.4	-0.3	3	0.3	0.406	<b>0.422</b>	<b>1.04</b>	<b>0.261</b>	<b>0.408</b>	<b>1.56</b>
20	2.4	0.3	3	0.3	0.496	<b>0.558</b>	<b>1.12</b>	<b>0.458</b>	<b>0.571</b>	<b>1.25</b>
20	2.4	0.9	3	0.3	0.592	<b>0.694</b>	<b>1.17</b>	<b>0.650</b>	<b>0.734</b>	<b>1.13</b>
20	2.4	1.5	3	0.3	0.691	<b>0.830</b>	<b>1.20</b>	<b>0.788</b>	<b>0.898</b>	<b>1.14</b>
20	3.6	-0.3	3	0.2	0.477	<b>0.624</b>	<b>1.31</b>	<b>0.357</b>	<b>0.544</b>	<b>1.52</b>
20	3.6	0.3	3	0.2	0.565	<b>0.826</b>	<b>1.46</b>	<b>0.571</b>	<b>0.761</b>	<b>1.33</b>
20	3.6	0.9	3	0.2	0.658	<b>1.028</b>	<b>1.56</b>	<b>0.773</b>	<b>0.978</b>	<b>1.27</b>
20	3.6	1.5	3	0.2	0.756	<b>1.230</b>	<b>1.63</b>	<b>0.932</b>	<b>1.196</b>	<b>1.28</b>
20	3.6	-0.3	3	0.3	0.528	<b>0.564</b>	<b>1.07</b>	<b>0.379</b>	<b>0.544</b>	<b>1.44</b>
20	3.6	0.3	3	0.3	0.595	<b>0.746</b>	<b>1.25</b>	<b>0.580</b>	<b>0.761</b>	<b>1.31</b>
20	3.6	0.9	3	0.3	0.713	<b>0.929</b>	<b>1.30</b>	<b>0.800</b>	<b>0.978</b>	<b>1.22</b>
20	3.6	1.5	3	0.3	0.812	<b>1.111</b>	<b>1.37</b>	<b>0.964</b>	<b>1.196</b>	<b>1.24</b>
20	2.4	-0.3	6	0.2	0.394	<b>0.529</b>	<b>1.34</b>	<b>0.220</b>	<b>0.408</b>	<b>1.85</b>
20	2.4	0.3	6	0.2	0.481	<b>0.700</b>	<b>1.46</b>	<b>0.412</b>	<b>0.571</b>	<b>1.39</b>
20	2.4	0.9	6	0.2	0.582	<b>0.871</b>	<b>1.50</b>	<b>0.576</b>	<b>0.734</b>	<b>1.27</b>
20	2.4	1.5	6	0.2	0.698	<b>1.042</b>	<b>1.49</b>	<b>0.724</b>	<b>0.898</b>	<b>1.24</b>
20	2.4	-0.3	6	0.3	0.401	<b>0.477</b>	<b>1.19</b>	<b>0.236</b>	<b>0.408</b>	<b>1.73</b>
20	2.4	0.3	6	0.3	0.491	<b>0.632</b>	<b>1.29</b>	<b>0.422</b>	<b>0.571</b>	<b>1.35</b>
20	2.4	0.9	6	0.3	0.592	<b>0.786</b>	<b>1.33</b>	<b>0.600</b>	<b>0.734</b>	<b>1.22</b>
20	2.4	1.5	6	0.3	0.702	<b>0.940</b>	<b>1.34</b>	<b>0.752</b>	<b>0.898</b>	<b>1.19</b>

**Tablo 4.2.3** Dış kiriş hareketli yük dağılım katsayıları

PARAMETRE					DAĞILIM KATSAYILARI					
L (m)	S (m)	d <sub>e</sub> (m)	GT	t <sub>s</sub> (m)	MOMENT			KESME KUVVETİ		
					SEY	AASHTO	R	SEY	AASHTO	R
20	3.6	-0.3	6	0.2	0.485	<b>0.713</b>	<b>1.47</b>	<b>0.307</b>	<b>0.544</b>	<b>1.77</b>
20	3.6	0.3	6	0.2	0.567	<b>0.943</b>	<b>1.66</b>	<b>0.515</b>	<b>0.761</b>	<b>1.48</b>
20	3.6	0.9	6	0.2	0.657	<b>1.173</b>	<b>1.79</b>	<b>0.706</b>	<b>0.978</b>	<b>1.39</b>
20	3.6	1.5	6	0.2	0.753	<b>1.404</b>	<b>1.86</b>	<b>0.863</b>	<b>1.196</b>	<b>1.38</b>
20	3.6	-0.3	6	0.3	0.494	<b>0.641</b>	<b>1.30</b>	<b>0.329</b>	<b>0.544</b>	<b>1.65</b>
20	3.6	0.3	6	0.3	0.577	<b>0.848</b>	<b>1.47</b>	<b>0.528</b>	<b>0.761</b>	<b>1.44</b>
20	3.6	0.9	6	0.3	0.667	<b>1.055</b>	<b>1.58</b>	<b>0.732</b>	<b>0.978</b>	<b>1.34</b>
20	3.6	1.5	6	0.3	0.748	<b>1.263</b>	<b>1.69</b>	<b>0.863</b>	<b>1.196</b>	<b>1.39</b>
40	2.4	-0.3	3	0.2	0.437	<b>0.387</b>	<b>0.89</b>	<b>0.263</b>	<b>0.408</b>	<b>1.55</b>
40	2.4	0.3	3	0.2	0.547	<b>0.512</b>	<b>0.94</b>	<b>0.466</b>	<b>0.571</b>	<b>1.23</b>
40	2.4	0.9	3	0.2	0.656	<b>0.637</b>	<b>0.97</b>	<b>0.663</b>	<b>0.734</b>	<b>1.11</b>
40	2.4	1.5	3	0.2	0.766	<b>0.763</b>	<b>0.99</b>	<b>0.831</b>	<b>0.898</b>	<b>1.08</b>
40	2.4	-0.3	3	0.3	0.457	<b>0.352</b>	<b>0.77</b>	<b>0.286</b>	<b>0.408</b>	<b>1.42</b>
40	2.4	0.3	3	0.3	0.558	<b>0.466</b>	<b>0.84</b>	<b>0.503</b>	<b>0.571</b>	<b>1.13</b>
40	2.4	0.9	3	0.3	0.650	<b>0.580</b>	<b>0.89</b>	<b>0.717</b>	<b>0.734</b>	<b>1.02</b>
40	2.4	1.5	3	0.3	0.739	<b>0.693</b>	<b>0.94</b>	<b>0.887</b>	<b>0.898</b>	<b>1.01</b>
40	3.6	-0.3	3	0.2	0.537	<b>0.516</b>	<b>0.96</b>	<b>0.399</b>	<b>0.544</b>	<b>1.36</b>
40	3.6	0.3	3	0.2	0.639	<b>0.683</b>	<b>1.07</b>	<b>0.610</b>	<b>0.761</b>	<b>1.25</b>
40	3.6	0.9	3	0.2	0.743	<b>0.850</b>	<b>1.14</b>	<b>0.830</b>	<b>0.978</b>	<b>1.18</b>
40	3.6	1.5	3	0.2	0.852	<b>1.017</b>	<b>1.19</b>	<b>0.983</b>	<b>1.196</b>	<b>1.22</b>
40	3.6	-0.3	3	0.3	0.612	<b>0.467</b>	<b>0.76</b>	<b>0.441</b>	<b>0.544</b>	<b>1.23</b>
40	3.6	0.3	3	0.3	0.752	<b>0.618</b>	<b>0.82</b>	<b>0.639</b>	<b>0.761</b>	<b>1.19</b>
40	3.6	0.9	3	0.3	0.816	<b>0.769</b>	<b>0.94</b>	<b>0.851</b>	<b>0.978</b>	<b>1.15</b>
40	3.6	1.5	3	0.3	0.919	<b>0.921</b>	<b>1.00</b>	<b>1.041</b>	<b>1.196</b>	<b>1.15</b>
40	2.4	-0.3	6	0.2	0.418	<b>0.439</b>	<b>1.05</b>	<b>0.245</b>	<b>0.408</b>	<b>1.67</b>
40	2.4	0.3	6	0.2	0.515	<b>0.581</b>	<b>1.13</b>	<b>0.445</b>	<b>0.571</b>	<b>1.28</b>
40	2.4	0.9	6	0.2	0.616	<b>0.723</b>	<b>1.17</b>	<b>0.628</b>	<b>0.734</b>	<b>1.17</b>
40	2.4	1.5	6	0.2	0.728	<b>0.864</b>	<b>1.19</b>	<b>0.797</b>	<b>0.898</b>	<b>1.13</b>
40	2.4	-0.3	6	0.3	0.436	<b>0.397</b>	<b>0.91</b>	<b>0.269</b>	<b>0.408</b>	<b>1.51</b>
40	2.4	0.3	6	0.3	0.536	<b>0.525</b>	<b>0.98</b>	<b>0.419</b>	<b>0.571</b>	<b>1.36</b>
40	2.4	0.9	6	0.3	0.626	<b>0.654</b>	<b>1.04</b>	<b>0.664</b>	<b>0.734</b>	<b>1.11</b>
40	2.4	1.5	6	0.3	0.724	<b>0.782</b>	<b>1.08</b>	<b>0.833</b>	<b>0.898</b>	<b>1.08</b>
40	3.6	-0.3	6	0.2	0.496	<b>0.588</b>	<b>1.18</b>	<b>0.358</b>	<b>0.544</b>	<b>1.52</b>
40	3.6	0.3	6	0.2	0.588	<b>0.778</b>	<b>1.32</b>	<b>0.571</b>	<b>0.761</b>	<b>1.33</b>
40	3.6	0.9	6	0.2	0.735	<b>0.968</b>	<b>1.32</b>	<b>0.752</b>	<b>0.978</b>	<b>1.30</b>
40	3.6	1.5	6	0.2	0.794	<b>1.158</b>	<b>1.46</b>	<b>0.909</b>	<b>1.196</b>	<b>1.32</b>
40	3.6	-0.3	6	0.3	0.534	<b>0.530</b>	<b>0.99</b>	<b>0.396</b>	<b>0.544</b>	<b>1.37</b>
40	3.6	0.3	6	0.3	0.623	<b>0.701</b>	<b>1.13</b>	<b>0.597</b>	<b>0.761</b>	<b>1.27</b>
40	3.6	0.9	6	0.3	0.716	<b>0.872</b>	<b>1.22</b>	<b>0.816</b>	<b>0.978</b>	<b>1.20</b>
40	3.6	1.5	6	0.3	0.79	<b>1.043</b>	<b>1.31</b>	<b>0.950</b>	<b>1.196</b>	<b>1.26</b>

R = AASHTO / SEY

## 4.2.1 İNTEGRAL KÖPRÜ DIŞ KİRİŞ HAREKETLİ YÜK DAĞILIMI İÇİN KATSAYI GELİŞTİRİLMESİ

Geleneksel genleşme derzli köprülerin dış kirişleri için hareketli yük dağılım katsayılarının hesaplanması amacıyla kullanılan katsayılar (Eşitlik 4.2.1 ve 4.2.2.) bariyer iç yüzünden dış kiriş ağırlık merkezine olan uzaklığa ( $d_e$ ) bağlı olarak hesaplanmaktadır. İntegral köprülerin analiz sonuçları değerlendirildiğinde, intagral köprülerin iç kiriş hareketli yük dağılım katsayılarıyla dış kiriş hareketli yük dağılım katsayıları arasında bu şekilde yalnızca  $d_e$ ’ye bağlı doğrusal bir bağıntı olmadığı gözlenmiştir. Bu katsayının  $d_e$ ’nin yanı sıra  $S$ ,  $L$ ,  $t_s$  ve  $K_g$ ’ye de bağlı olması gerektiği saptanmış ve doğrusal olmayan regresyon yöntemiyle bu parametrelere bağlı olarak bu katsayı geliştirilmiştir.

### 4.2.1.1 Katsayının Geliştirilmesi İle İlgili Sayısal Yöntemin İrdelenmesi

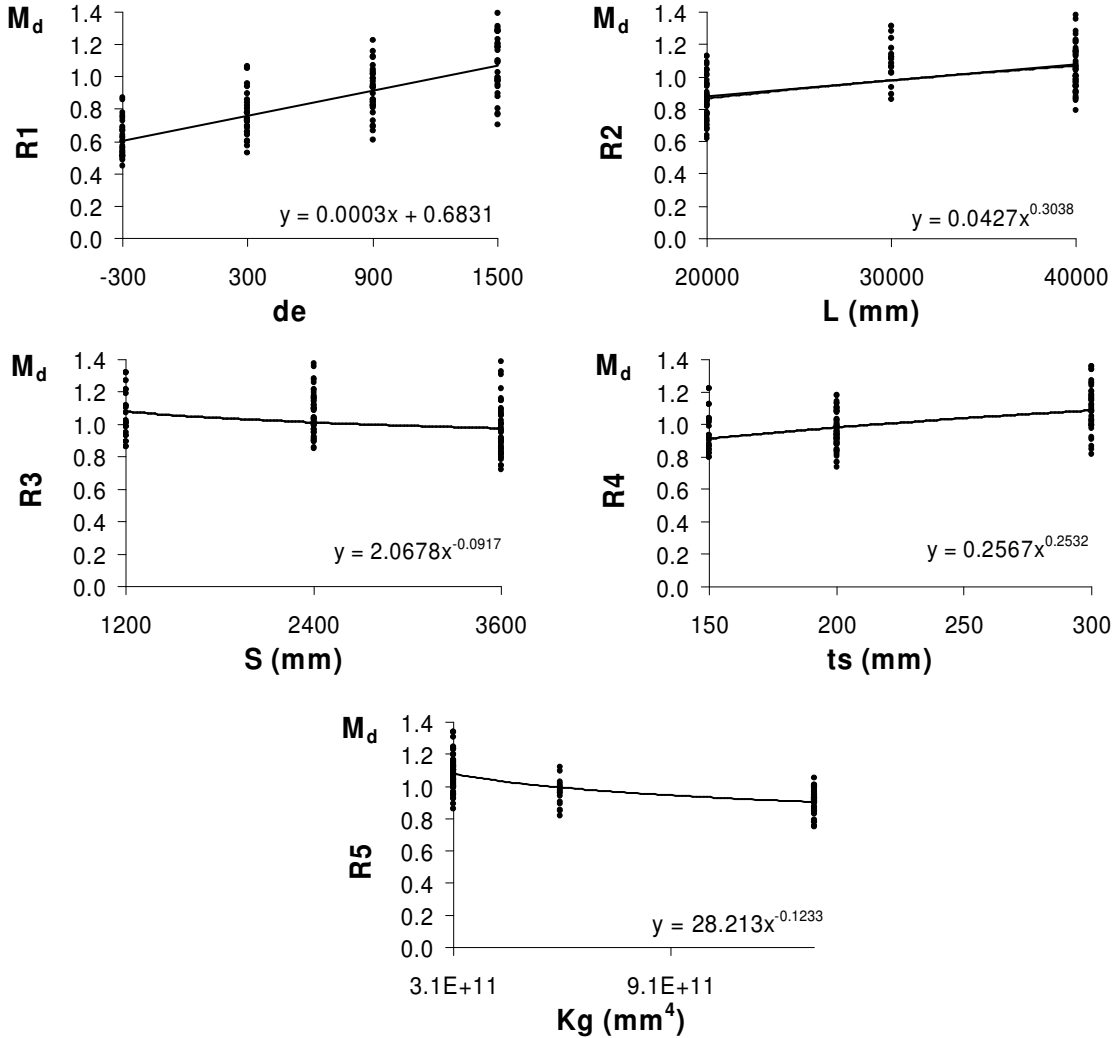
AASHTO formüllerinin geliştirilmesinde, Zokaie (2000) her bir parametre etkisinin  $a.x^b$  şeklinde bir üstel fonksiyonla tarif edileceğini kabul etmiştir. Burada x köprü üst yapısıyla ilgili parametre (açıklık, kiriş aralığı, kiriş rijitliği ve tabliye kalınlığı gibi) a ve b ise bu parametrenin hareketli yük dağılımına etkisini gösteren sabit terimlerdir. İntegral köprülerin, AASHTO formülleriyle birlikte kullanılacak olan, dış kiriş hareketli yük dağılım katsayılarının belirlenmesinde de benzer bir yaklaşım kullanılmıştır. Ancak,  $d_e$  parametresi negatif değerler alabildiğinden, bu parametrenin etkisi,  $a.x^b$  şeklinde bir ifade yerine  $a_1 + b_1.d_e$  şeklinde doğrusal bir ifade kullanılmak suretiyle hesaba katılmıştır.

AASHTO formüllerine çarpan olarak kullanılacak katsayı elde edilmeden önce, integral köprülerin analiz sonuçlarından elde edilmiş olan katsayılar, AASHTO formülünden elde edilmiş katsayılara oranlanarak, AASHTO formülüyle elde edilmiş olan katsayılardan ne oranda farklı oldukları elde edilmiştir. Bu oranlar, barrier iç yüzünden dış kiriş ağırlık merkezine olan mesafeye ( $R_{de}$ ), açıklığa ( $R_L$ ), kiriş aralığına ( $R_S$ ), kiriş rijitliğine ( $R_{Kg}$ ) ve tabliye kalınlığına ( $R_{ts}$ ) göre gruplandırılmıştır. Bu şekilde her bir oran o parametrenin bir fonksiyonu olarak tarif edilmiştir. İlk olarak, ( $R_{de}$ ) oranlarının,  $d_e$ ’ye göre çizilen grafiğinden geçirilen eğri ile  $a_1 + b_1.d_e$  şeklinde bir denklem elde edilmiştir. Daha sonra, köprü açıklığına göre elde edilmiş olan oranlar ( $R_L$ ), bir önceki basamakta elde edilen ve  $d_e$ ’nin bir fonksiyonu olan  $R_1 = a_1 + b_1.d_e$  denkleminden bulunan katsayılara oranlanmıştır. Bunun yapılmasındaki ana amaç, her bir parametrenin hareketli yük dağılım katsayısına etkisinin diğerinden bağımsız olarak değerlendirilemeyeceğidir. Bu şekilde bulunmuş olan yeni oranların ( $R_2$ ), köprü açıklığının bir fonksiyonu olarak çizilen grafiğinden geçirilen eğri ile  $R_2 = a_2.L^{b_2}$  şeklinde diğer bir denklem elde edilmiştir. Benzer şekillerde,  $R_S$ ’nin  $R_1$  ve  $R_2$ ’ye oranlanmasıyla elde edilen katsayıların  $S$ ’ye göre çizilen grafiklerinden elde edilmiş olan eğrinin denklemi  $R_3 = a_3.S^{b_3}$  olarak tarif edilmiştir. Daha sonra,  $R_{ts}$ ’nin  $R_1$ ,  $R_2$  ve  $R_3$ ’e oranlanmasıyla elde edilen katsayıların  $t_s$ ’ye göre çizilen grafiklerinden elde edilmiş olan eğrinin denklemi  $R_4 = a_4.t_s^{b_4}$  olarak elde edilmiştir. Son olarak,  $R_{Kg}$ ’nin  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  ve  $R_4$ ’e oranlanmasıyla elde edilen katsayıların  $K_g$ ’ye göre çizilen grafiklerinden elde edilmiş olan eğrinin denklemi  $R_5 = a_5.K_g^{b_5}$  olarak elde edilmiştir. Bu işlemlerden sonra,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  ve  $R_5$ ’ün çarpımından, AASHTO kiriş hareketli yük dağılım formüllerinin integral köprülerin

dış kirişleri için de kullanılabilir olmasını sağlayan katsayının denklemleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

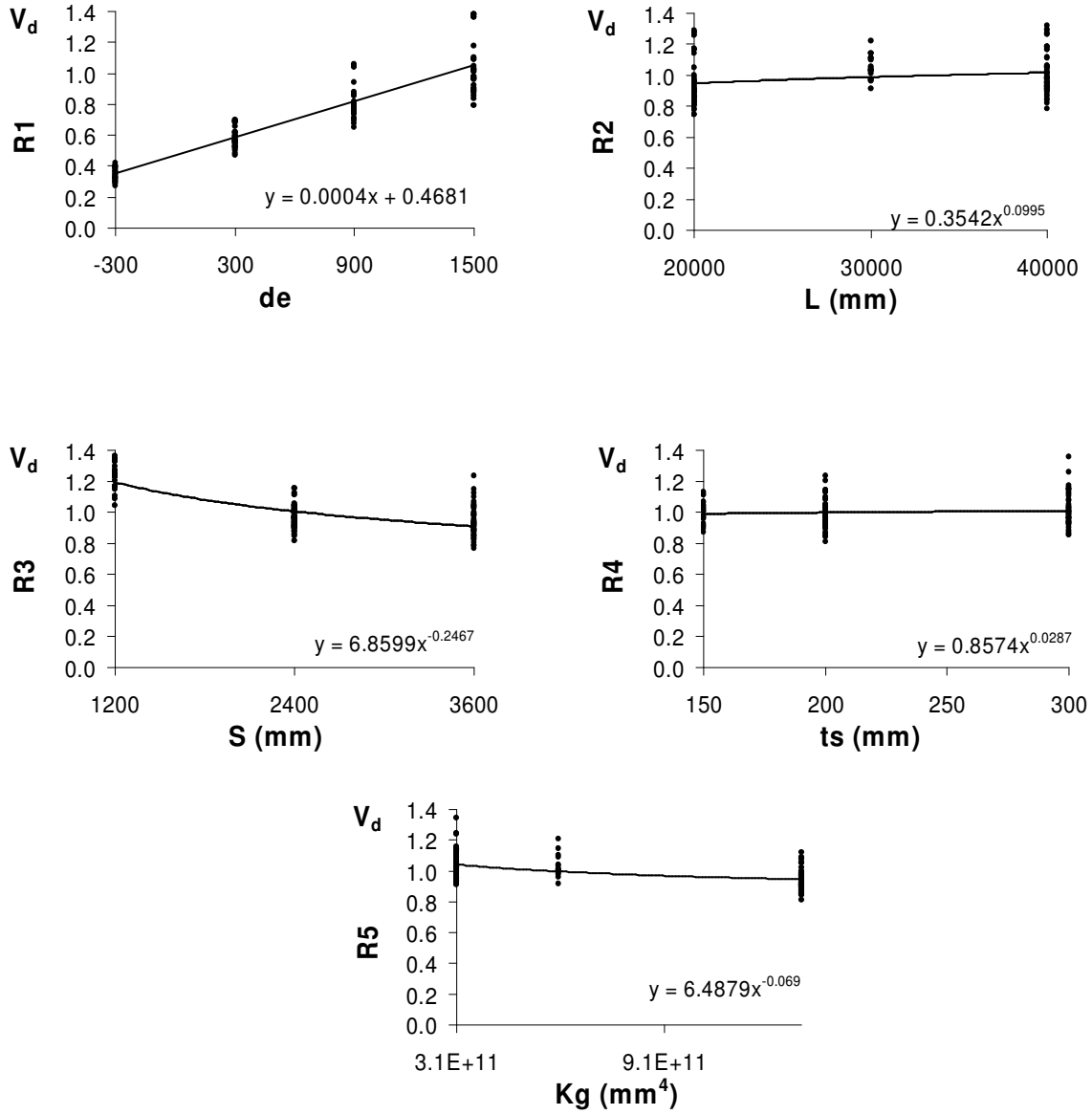
#### 4.2.1.2 İki Ya Da Daha Fazla Tasarım Şeridinin Yüklü Olması Durumu İçin Geliştirilmiş Olan Katsayılar.

Bölüm 4.2.1.1’de ifade edilmiş olanların ışığında iki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumundaki sonuçlar göz önünde bulundurularak çizilmiş olan grafikler (Şekil 4.2.1 ve 4.2.2) ve elde edilmiş olan eğri denklemleri aşağıda gösterildiği gibidir. İntegral köprülerde iki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumunda dış kirişler için hareketli yük dağılım katsayılarının hesaplanmasında, AASHTO kiriş momenti ve kesme kuvveti hareketli yük dağılım formülüyle birlikte kullanılacak olan katsayılar ise 4.2.3 ve 4.2.4 eşitliğindeki gibidir. İntegral köprü kiriş momenti ve kesme kuvveti için hareketli yük dağılım katsayılarının hesaplanmasında, 4.1.1 ve 4.1.2’de verilmiş olan AASHTO formülünden bulunan değerin, bu katsayı formülünden bulunan ifadeyle çarpılması gerekmektedir.



**Şekil 4.2.1** Dış kiriş moment hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  ve  $R_5$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri





**Şekil 4.2.2** Dış kiriş kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  ve  $R_5$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

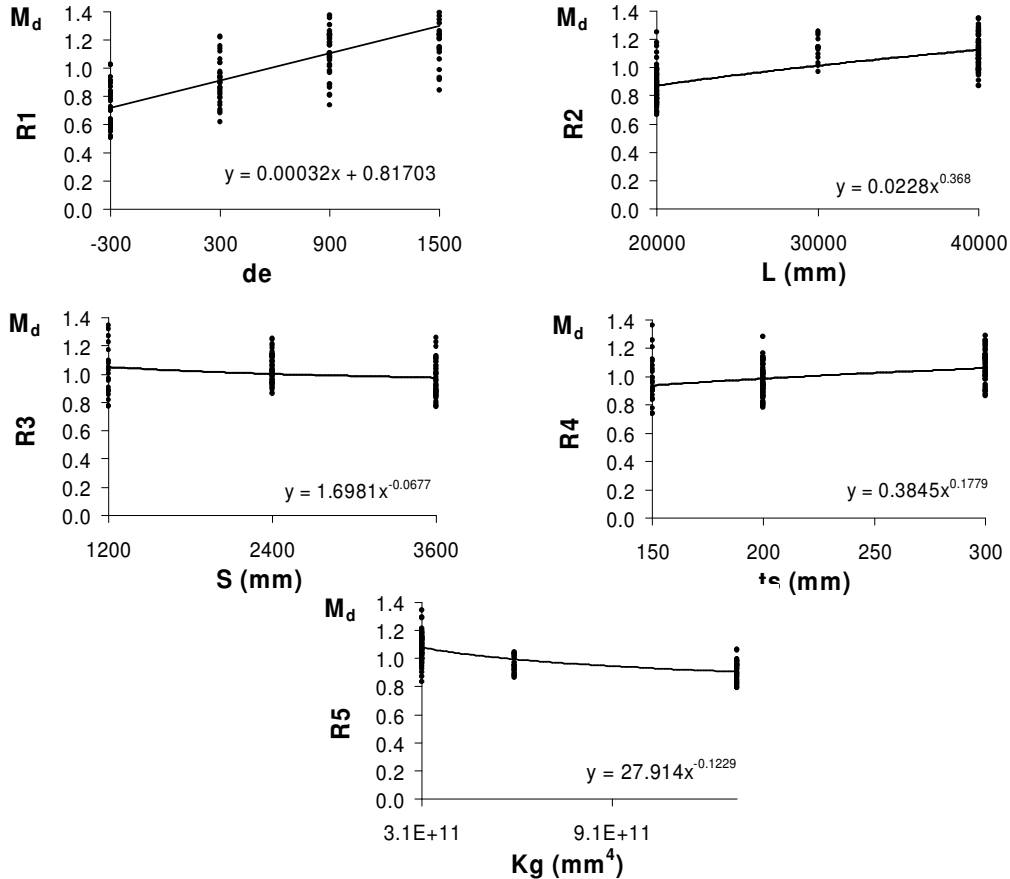
$$M_{2C} = \frac{2L^{0.30}t_s^{0.25}}{3S^{0.10}K_g^{0.12}} \left( 0.7 + \frac{d_e}{3000} \right) \quad (4.2.3)$$

$$V_{2C} = \frac{14L^{0.10}t_s^{0.03}}{S^{0.25}K_g^{0.07}} \left( 0.5 + \frac{d_e}{2500} \right) \quad (4.2.4)$$

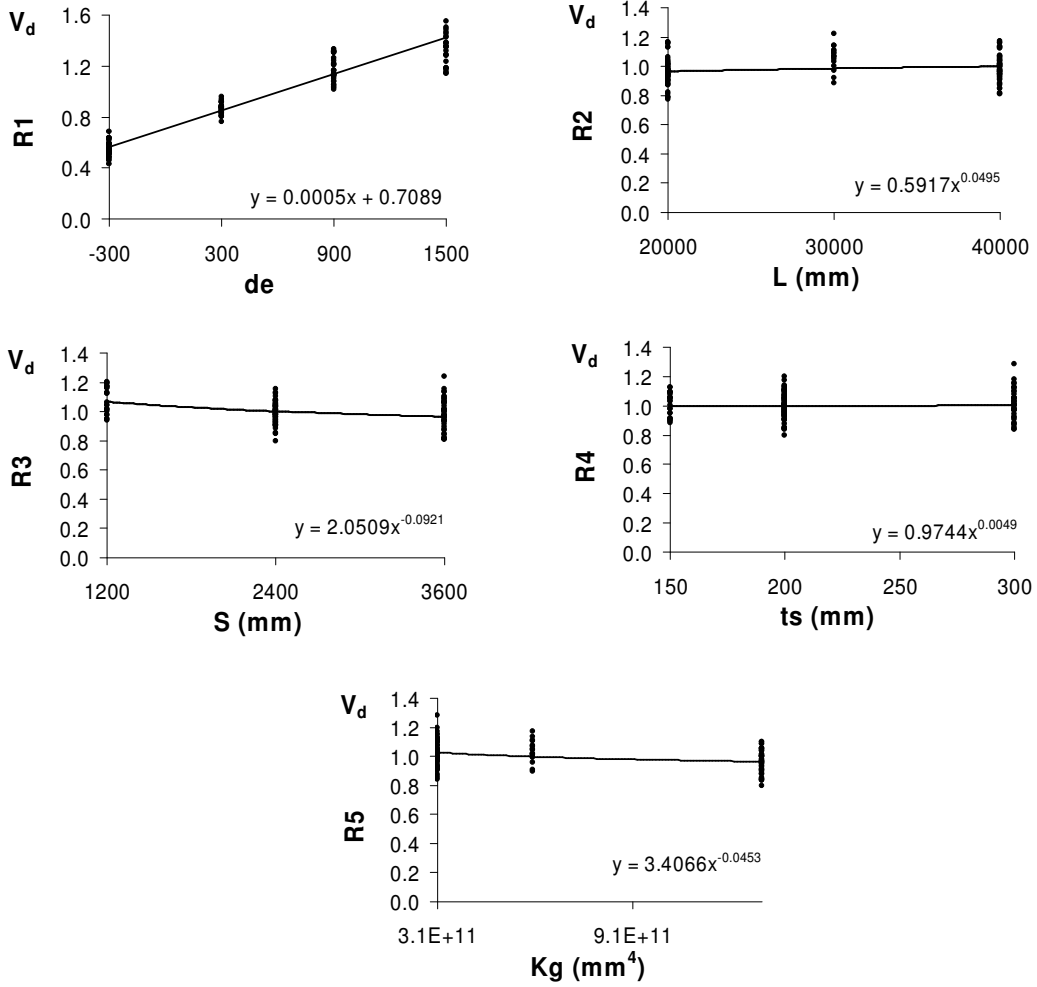
### 4.2.1.3 Tek Tasarım Şeridinin Yüklü Olması Durumu İçin Geliştirilmiş Olan Katsayılar

Geleneksel genişleme derzli köprülerde, tek tasarım şeridinin yüklü olması durumunda, iç kiriş hareketli yük dağılım katsayılarının 4.1.3 ve 4.1.4 eşitliklerinden yararlanılarak hesaplandığı, dış kiriş hareketli yük dağılım katsayılarının ise lever kuralı ile hesaplandığı önceki bölümlerde belirtilmişti. Lever kuralı basit mesnetli köprülerde kolay uygulanabilen bir yöntem olmasına rağmen, bu yöntemin integral köprülerde uygulanması, tabliyenin uç ayaklara monolitik bağlantısından kaynaklanan iki yönlü yük dağılımından dolayı, oldukça zordur. Bu sebepten dolayı, tek tasarım şeridinin yüklü olması durumunda hareketli yük dağılım katsayılarının hesaplanabilmesi için iki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumuna benzer bir yöntem izlenmiştir. Bu amaçla, 4.1.3 ve 4.1.4 eşitlikleriyle birlikte çarpan olarak kullanılacak olan katsayıları veren denklemler geliştirilmiştir.

Bölüm 4.2.1.1’de ifade edilmiş olanların ışığında tek tasarım şeridinin yüklü olması durumundaki sonuçlar göz önünde bulundurularak çizilmiş olan grafikler (Şekil 4.2.3 ve 4.2.4) ve elde edilmiş olan eğri denklemleri aşağıda gösterildiği gibidir. İntegral köprülerde tek şeridin yüklü olduğu durum için dış kiriş hareketli yük dağılım katsayılarının hesaplanmasında, AASHTO kiriş momenti ve kesme kuvveti hareketli yük dağılım formülüyle birlikte kullanılacak olan katsayıları veren denklemler 4.2.5 ve 4.2.6’da verilmiştir. İntegral köprü kiriş momenti için hareketli yük dağılım katsayılarının hesaplanmasında, 4.1.3 ve 4.1.4’de verilmiş olan AASHTO formüllerinden bulunan değerlerin, bu katsayı formülünden bulunan değerle çarpılması gerekmektedir.



Şekil 4.2.3 Dış kiriş moment hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> ve R<sub>5</sub> ifadelerinin regresyon analiz grafikleri



**Şekil 4.2.4** Dış kiriş kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  ve  $R_5$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

$$M_{1C} = \frac{2 L^{0.37} t_s^{0.18}}{5 S^{0.07} K_g^{0.12}} \left( 0.8 + \frac{d_e}{3000} \right) \quad (4.2.5)$$

$$V_{1C} = \frac{4 L^{0.05} t_s^{0.01}}{S^{0.09} K_g^{0.045}} \left( 0.7 + \frac{d_e}{2100} \right) \quad (4.2.6)$$

#### 4.2.2 İNTEGRAL KÖPRÜLERDE DIŞ KİRİŞ HAREKETLİ YÜK DAĞILIMI İÇİN YENİ FORMÜLLERİN GELİŞTİRİLMESİ

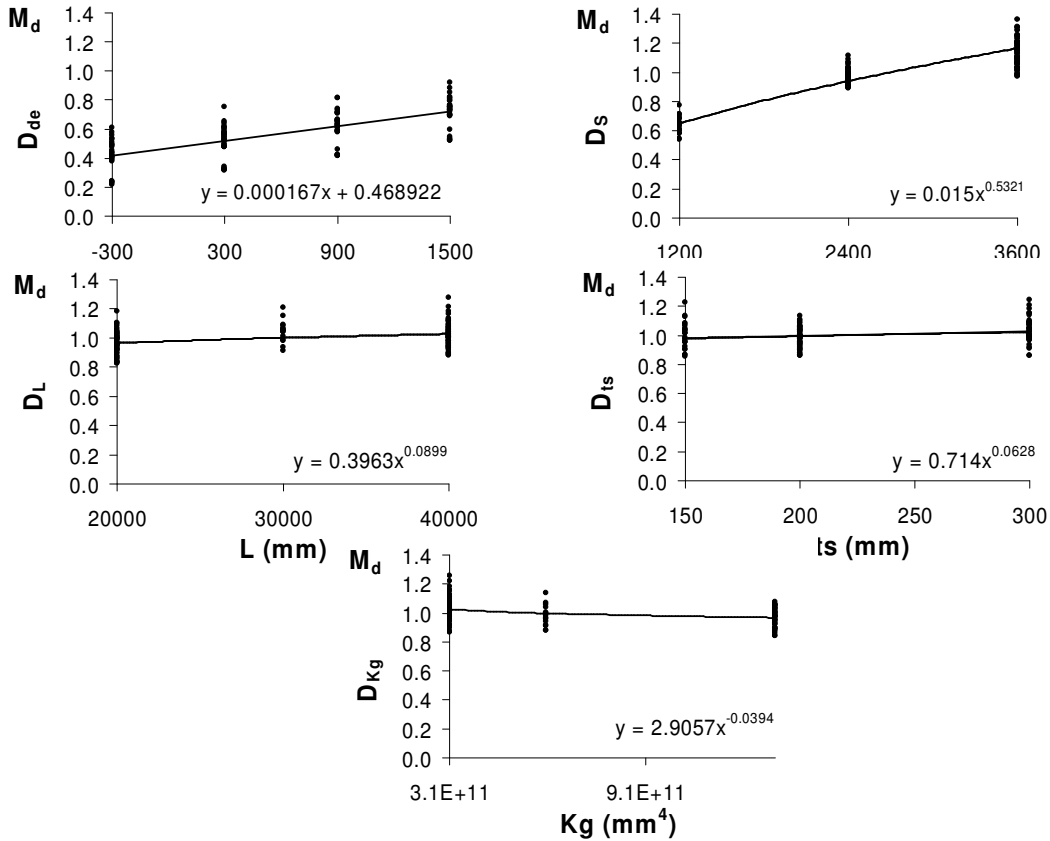
İntegral köprülerin dış kiriş hareketli yük dağılım katsayılarının hesaplanabilmesi için, mevcut AASHTO formülleriyle birlikte kullanılması gereken katsayılar pratik olmaktan uzaktır. Bu sebepten dolayı, integral köprülerin dış kiriş hareketli yük dağılım katsayılarının doğrudan hesaplanabilmesi için, dış kiriş hareketli yük dağılım formülleri geliştirilmiştir. Bu formüllerin geliştirilmesiyle ilgili detaylar ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

#### 4.2.2.1 Formüllerin Geliştirilmesi İle İlgili Sayısal Yöntemin İrdelenmesi

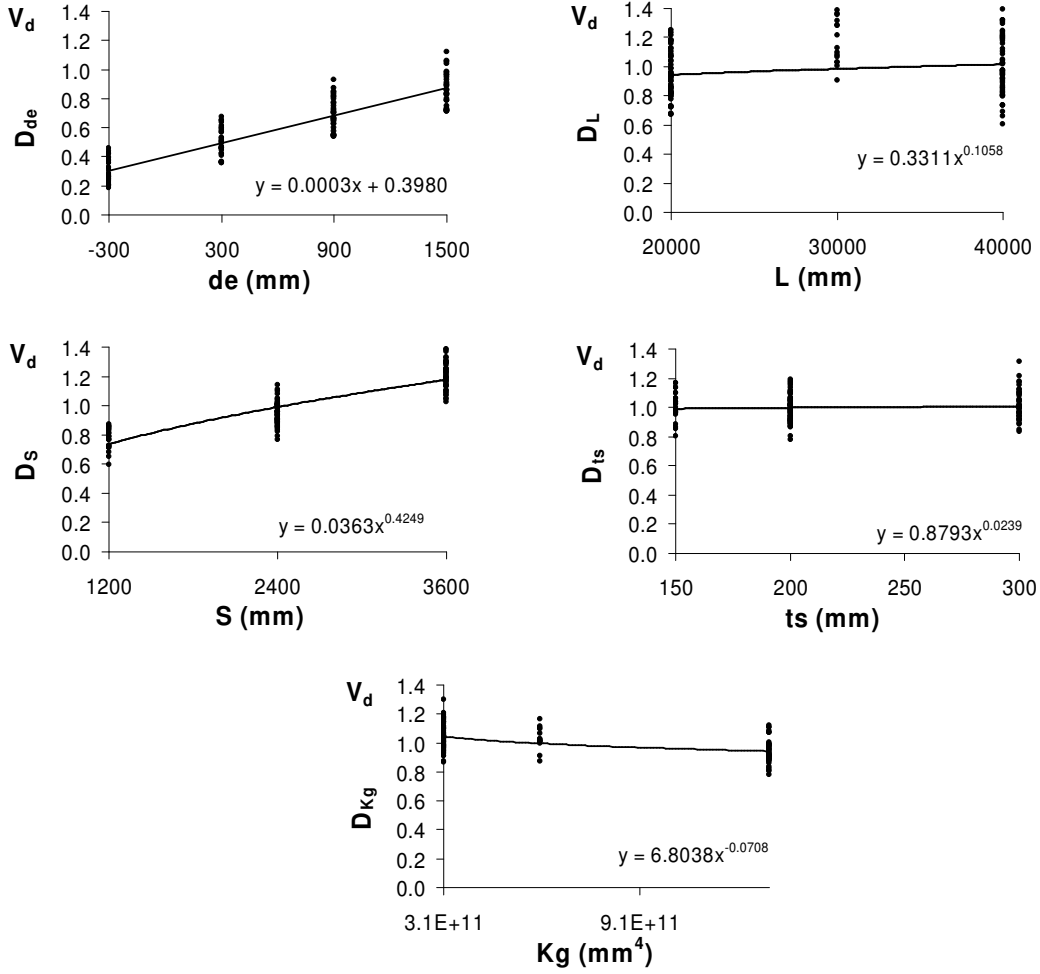
Yukarıdaki bölümlerde belirtildiği gibi, öncelikle, integral köprülerin analizlerinden elde edilen dış kiriş hareketli yük dağılım katsayılarının  $d_e$ 'ye göre grafikleri çizilmiş ve bu grafiklerden elde edilen eğrinin denklemi  $D_{de} = a_1 + b_1.d_e$  olarak tarif edilmiştir. Daha sonra, analizlerden bulunmuş olan hareketli yük dağılım katsayıları, her bir katsayı için  $D_{de}$  denkleminde elde edilmiş olan katsayılarla oranlanarak yeni katsayılar elde edilmiştir. Bunun yapılmasındaki amaç, hiç bir parametrenin, hareketli yük dağılımı üzerindeki etkisinin bir diğerinden bağımsız olarak düşünülemeyeceğidir. Elde edilen bu yeni katsayıların açıklığa göre grafikleri çizilmiş ve bu grafiklerden elde edilen eğrinin denklemi  $D_L = a_2.L^{b_2}$  olarak ifade edilmiştir. Daha sonra benzer işlemler sırasıyla;  $S$ ,  $t_s$  ve  $K_g$ 'ye göre yapılarak  $D_S$ ,  $D_{ts}$  ve  $D_{Kg}$  elde edilmiştir. Son olarak  $D_{de}$ ,  $D_L$ ,  $D_S$ ,  $D_{ts}$  ve  $D_{Kg}$ 'nin çarpımından integral köprülerin dış kirişlerinde kullanılmak üzere hareketli yük dağılım formülleri elde edilmiştir.

#### 4.2.2.2 İki Ya Da Daha Fazla Tasarım Şeridinin Yüklü Olması Durumu İçin Geliştirilmiş Olan Formüller

Bölüm 4.2.2.1'de ifade edilmiş olanların ışığında iki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumundaki sonuçlar göz önünde bulundurularak çizilmiş olan grafikler (4.2.5–6) ve elde edilmiş olan eğri denklemleri aşağıdaki gibidir. İntegral köprülerde iki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumunda dış kiriş momenti ve kesme kuvveti hareketli yük dağılım formülü olarak kullanılması önerilen denklemler 4.2.7 ve 4.2.8'deki gibidir.



Şekil 4.2.5 Dış kiriş moment hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $D_{de}$ ,  $D_S$ ,  $D_L$ ,  $D_{ts}$  ve  $D_{Kg}$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri



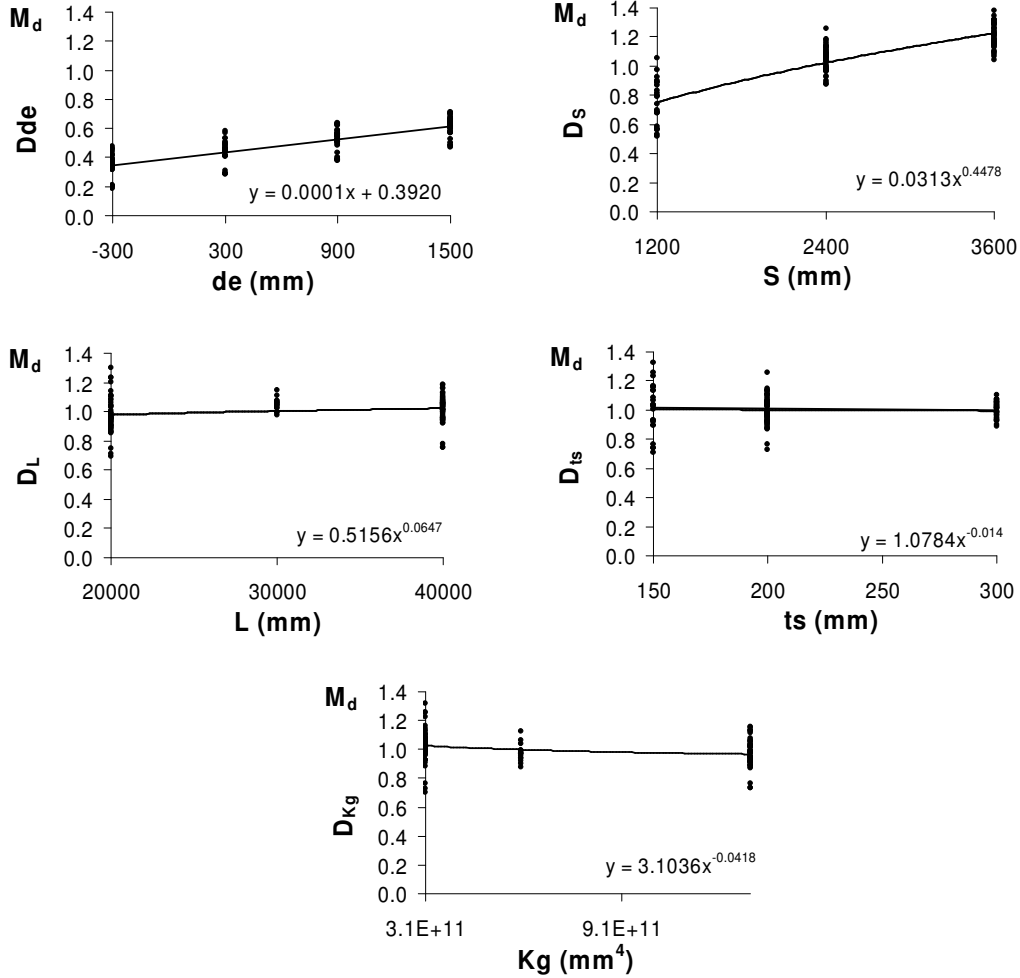
**Şekil 4.2.6** Dış kiriş kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $D_{de}$ ,  $D_S$ ,  $D_L$ ,  $D_{ts}$  ve  $D_{Kg}$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

$$M_{2DIŞ} = \frac{L^{0.09} S^{0.53} t_s^{0.06}}{80 K_g^{0.04}} \left( 0.5 + \frac{d_e}{5000} \right) \quad (4.2.7)$$

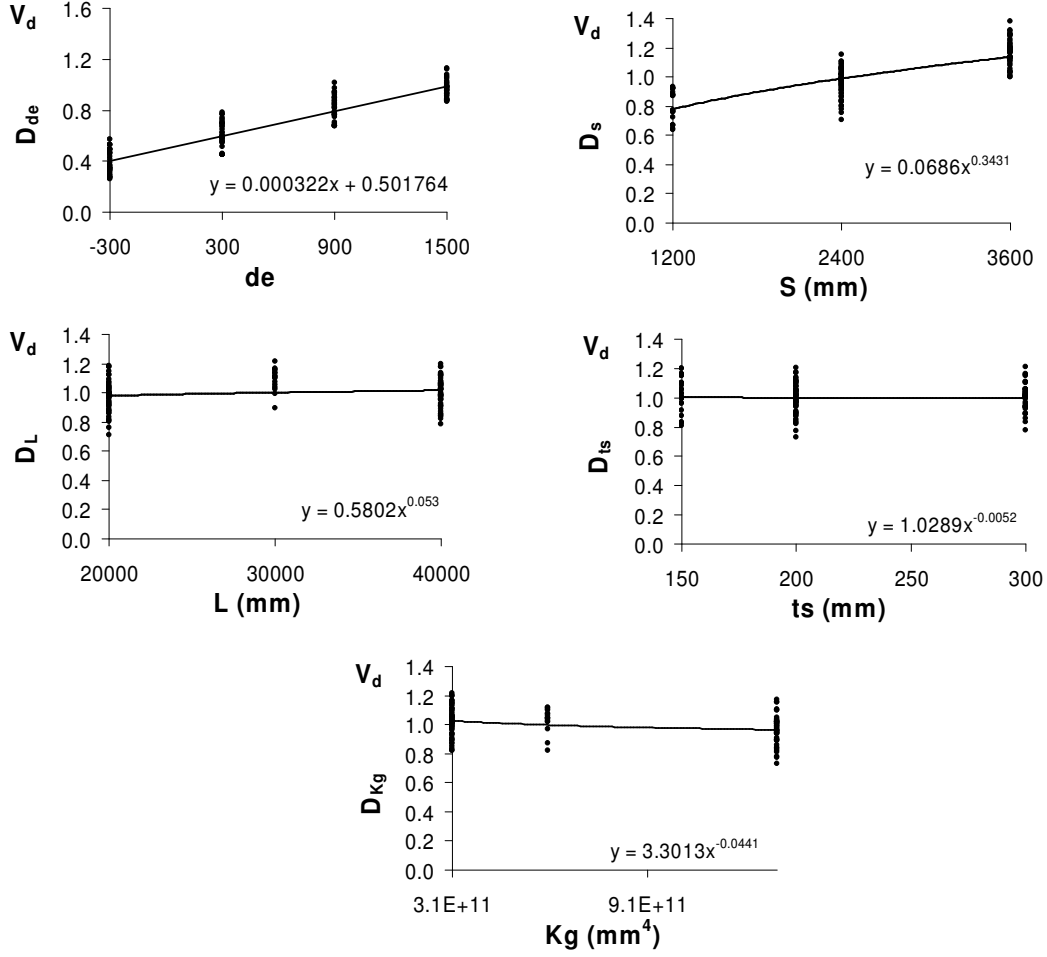
$$V_{2DIŞ} = \frac{L^{0.10} S^{0.43} t_s^{0.03}}{14 K_g^{0.07}} \left( 0.4 + \frac{d_e}{3000} \right) \quad (4.2.8)$$

#### 4.2.2.3 Tek Tasarım Şeridinin Yüklü Olması Durumu İçin Geliştirilmiş Olan Formüller

Bölüm 4.2.2.1’de ifade edilmiş olanların ışığında tek şeridinin yüklü olması durumundaki sonuçlar göz önünde bulundurularak çizilmiş olan grafikler ve elde edilmiş olan eğri denklemleri aşağıda gösterildiği gibidir. İntegral köprülerde iki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumunda dış kiriş momenti ve kesme kuvveti hareketli yük dağılım formülü olarak kullanılması önerilen denklem 4.2.9 ve 4.2.10’daki gibidir.



**Şekil 4.2.7** Dış kiriş momenti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $D_{de}$ ,  $D_s$ ,  $D_L$ ,  $D_{ts}$  ve  $D_{Kg}$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri



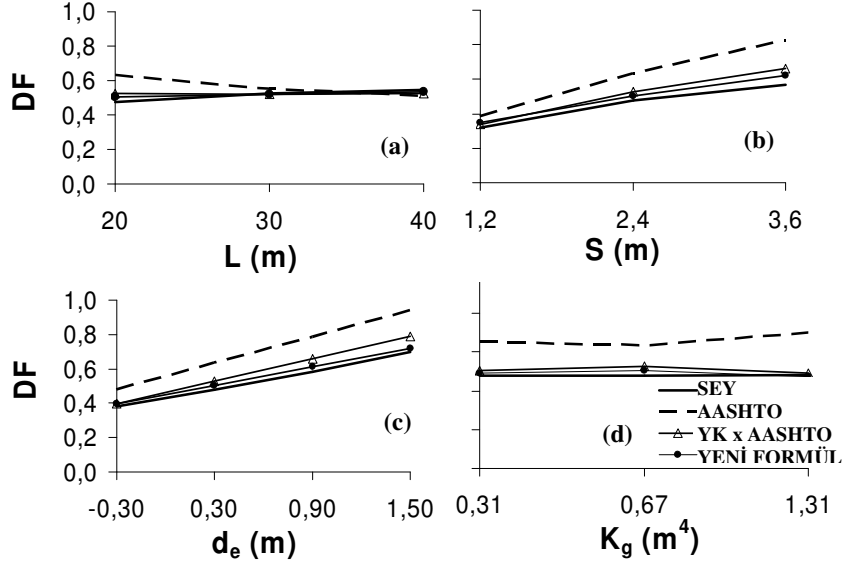
**Şekil 4.2.8** Dış kiriş kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $D_{de}$ ,  $D_s$ ,  $D_L$ ,  $D_{ts}$  ve  $D_{Kg}$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

$$M_{1DIŞ} = \frac{L^{0.06} S^{0.45}}{18 t_s^{0.02} K_g^{0.04}} \left( 0.4 + \frac{d_e}{6000} \right) \quad (4.2.9)$$

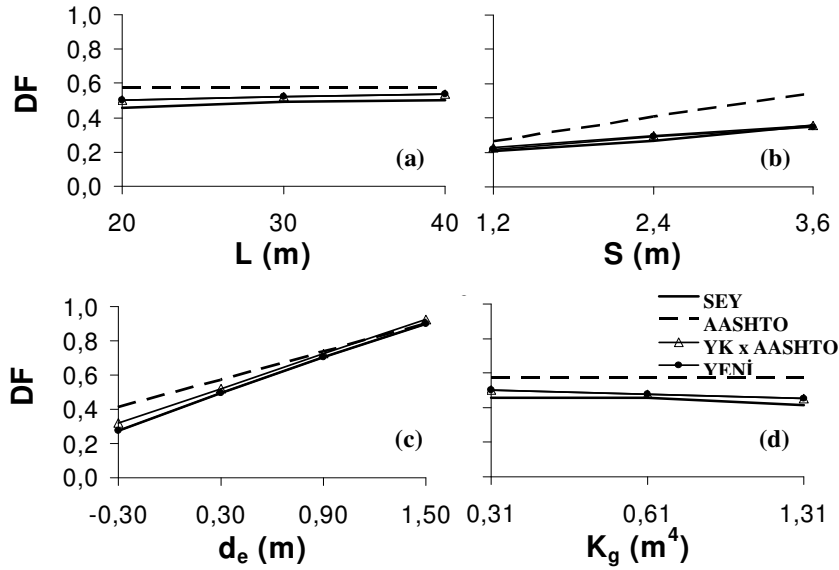
$$V_{1DIŞ} = \frac{2 L^{0.05} S^{0.34}}{15 t_s^{0.01} K_g^{0.04}} \left( 0.5 + \frac{d_e}{3000} \right) \quad (4.2.10)$$

### 4.2.3 YENİ KATSAYI VE FORMÜLLERİN, ANALİZ SONUÇLARI VE AASHTO FORMÜLLERİYLE KARŞILAŞTIRILMASI

Sonlu elemanlar yöntemi (SEY) kullanılarak ve AASHTO formüllerinden elde edilen sonuçlar ile integral köprülerin dış kiriş hareketli yük momenti ve kesme kuvvetinin hesaplanabilmesi için geliştirilmiş olan, yeni katsayı denklemlerinin (YK) ve yeni formüllerin (YF) karşılaştırmalarını gösteren grafikler Şekil 4.2.9 ve 4.2.10'da gösterildiği gibidir.



**Şekil 4.2.9** SEY, AASHTO, Yeni formül ve katsayılar ile hesaplanmış moment hareketli yük dağılım katsayılarının karşılaştırılması a)  $L$ , ( $S=2.4$  m,  $t_s=0.2$  m,  $GT=III$ ,  $d_e=0.3$ ) (b)  $S$  ( $L=20$  m,  $t_s=0.2$  m,  $GT=III$ ,  $d_e=0.3$ ), (c)  $d_e$  ( $L=20$  m,  $S=2.4$  m,  $t_s=0.2$  m,  $GT=III$ ), (d)  $K_g$  ( $L=20$  m,  $S=2.4$  m,  $t_s=0.2$  m,  $d_e=0.3$ ).



**Şekil 4.2.10** SEY, AASHTO, Yeni formül ve katsayılar ile hesaplanmış kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayılarının karşılaştırılması (a)  $L$ , ( $S=2.4$  m,  $t_s=0.2$  m,  $GT=III$ ,  $d_e=0.3$ ) (b)  $S$  ( $L=20$  m,  $t_s=0.2$  m,  $GT=VI$ ,  $d_e=0.3$ ), (c)  $d_e$  ( $L=20$  m,  $S=2.4$  m,  $t_s=0.2$  m,  $GT=III$ ), (d)  $K_g$  ( $L=20$  m,  $S=2.4$  m,  $t_s=0.2$  m,  $d_e=0.3$ ).



Ayrıca aşağıdaki tablo, mevcut AASHTO formüllerinden ve yeni türetilmiş olan katsayı ve formüllerden hesaplanmış olan dış kiriş hareketli yük dağılım katsayılarının, analiz sonuçlarından elde edilmiş olan dış kiriş hareketli yük dağılım katsayılarına oranlarının ortalama ve standart sapma değerlerini göstermektedir.

**Tablo 4.2.4** Dış kiriş formülleri ortalama ve standart sapma değerleri

		<b><i>YK x AASHTO</i></b>		<b>Yeni Formül</b>		<b>AASHTO</b>	
	<b>Yüklü Şerit Sayısı</b>	<b>AVG</b>	<b>STD</b>	<b>AVG</b>	<b>STD</b>	<b>AVG</b>	<b>STD</b>
<b>M<sub>dış</sub></b>	<b>Tek</b>	1.06	0.09	1.05	0.08	1.33	0.32
	<b>İki veya daha fazla</b>	1.04	0.10	1.02	0.07	1.16	0.24
<b>V<sub>dış</sub></b>	<b>Tek</b>	1.03	0.09	1.04	0.09	0.93	0.14
	<b>İki veya daha fazla</b>	1.05	0.08	1.05	0.08	1.22	0.22

### 4.3. KAZIKLAR İÇİN HAREKETLİ YÜK DAĞILIM FORMÜLLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Hareketli yüklerin integral köprü kazıklarına etkisini belirlemek için tasarım standartlarında bir formül bulunmamaktadır. Bu çalışmada integral köprü kazıkları için geliştirilmiş olan formüller bu alanda bir ilk olma özelliğine sahiptir. Bu amaçla, çeşitli kiriş aralığına, köprü genişliğine (kiriş sayısına), kazık sayısına ve uç ayak yüksekliğine sahip 108 farklı yapısal model kurularak bu modeller AASHTO hareketli yükleri altında analiz edilmiş ve bu analizlerden elde edilen sonuçlar Tablo 4.3.1-3’de verilmiştir. Daha sonra, integral köprülerin kiriş hareketli yük dağılım formüllerinin geliştirilmesinde olduğu gibi doğrusal olmayan regresyon yönteminden yararlanılarak integral köprülerin kazıkları için hareketli yük dağılım formülleri geliştirilmiştir. Kazık hareketli yük dağılım formüllerinin geliştirilmesi ile ilgili detaylar ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

#### 4.3.1 FORMÜLLERİN GELİŞTİRİLMESİ İLE İLGİLİ SAYISAL YÖNTEMİN İRDELENMESİ

AASHTO formüllerinin geliştirilmesinde, Zokaie (2000) her bir parametrenin  $a.x^b$  şeklinde bir üstel fonksiyonla tarif ettiğinden önceki bölümlerde bahsedilmiştir. İntegral köprülerde kazık hareketli yük dağılım katsayılarını veren formüller benzer bir yaklaşımla elde edilmişlerdir. Öncelikle, integral köprülerin analizlerinden elde edilen kazık hareketli yük dağılım katsayılarının kiriş aralığı ( $S$ ) ile doğru ve köprü genişliği (kiriş sayısı ( $N_b$ )) ile ters orantılı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Bu sebepten dolayı, öncelikle analizlerden elde edilmiş olan kazık hareketli yük dağılım katsayıları,  $S/N_b$  oranının bir fonksiyonu olacak şekilde

çizilmiş ve bu grafikten elde edilen eğrinin denklemi  $R_1 = a_1 \cdot \left( \frac{S}{N_b} \right)^{b_1}$  olarak formüle

edilmiştir. Daha sonra, kazık hareketli yük dağılım katsayıları, her bir köprü için daha önce

elde edilmiş olan,  $R_1 = a_1 \cdot \left( \frac{S}{N_b} \right)^{b_1}$  denkleminden elde edilen katsayılara oranlanarak yeni  $R_2$

katsayıları elde edilmiştir. Bunun yapılmasındaki amaç, hiçbir parametrenin, hareketli yük dağılımı üzerindeki etkisinin bir diğerinden bağımsız olarak düşünülemeyeceğidir. Elde edilen bu katsayıların, uç ayak ankastre yüksekliğinin (uç ayak yüksekliğinden kiriş boyu ve tabliye kalınlığının çıkarılmasıyla elde edilen değer) bir fonksiyonu olarak çizilen grafiğinden elde edilen eğrinin denklemi  $R_2 = a_2 \cdot H_c^{b_2}$  olarak ifade edilmiştir. Son olarak  $R_1$  ve  $R_2$ ’nin çarpımından integral köprülerin kazıklarında kullanılmak üzere hareketli yük dağılım formülleri elde edilmiştir.

**Tablo 4.3.1** Kazık hareketli yük dağılım katsayıları

PARAMETRE				DAĞILIM KATSAYILARI			
W (m)	S (m)	P <sub>s</sub> (m)	H (m)	Moment	K. Kuvveti	Moment	K. Kuvveti
				Tek Tasarım şeridi yüklü	İki yada daha fazla Tasarım şeridi yüklü	Tek Tasarım şeridi yüklü	İki yada daha fazla Tasarım şeridi yüklü
14.4	1.2	1.2	2.5	0.10	0.20	0.10	0.21
14.4	2.4	1.2	2.5	0.18	0.37	0.19	0.38
14.4	3.6	1.2	2.5	0.26	0.53	0.26	0.53
14.4	4.8	1.2	2.5	0.33	0.67	0.33	0.68
14.4	1.2	1.8	2.5	0.10	0.20	0.10	0.20
14.4	2.4	1.8	2.5	0.19	0.38	0.19	0.38
14.4	3.6	1.8	2.5	0.26	0.54	0.27	0.54
14.4	4.8	1.8	2.5	0.34	0.69	0.34	0.70
14.4	1.2	2.4	2.5	0.10	0.20	0.10	0.20
14.4	2.4	2.4	2.5	0.18	0.37	0.19	0.38
14.4	3.6	2.4	2.5	0.26	0.53	0.26	0.53
14.4	4.8	2.4	2.5	0.33	0.68	0.33	0.69
14.4	1.2	3.0	2.5	0.10	0.20	0.10	0.20
14.4	2.4	3.0	2.5	0.18	0.37	0.19	0.38
14.4	3.6	3.0	2.5	0.26	0.53	0.26	0.53
14.4	4.8	3.0	2.5	0.33	0.68	0.33	0.69
14.4	1.2	1.2	3.0	0.10	0.20	0.10	0.20
14.4	2.4	1.2	3.0	0.19	0.37	0.19	0.38
14.4	3.6	1.2	3.0	0.26	0.53	0.27	0.54
14.4	4.8	1.2	3.0	0.34	0.68	0.34	0.69
14.4	1.2	1.8	3.0	0.10	0.20	0.10	0.21
14.4	2.4	1.8	3.0	0.19	0.38	0.19	0.38
14.4	3.6	1.8	3.0	0.26	0.53	0.26	0.53
14.4	4.8	1.8	3.0	0.34	0.70	0.35	0.71
14.4	1.2	2.4	3.0	0.10	0.20	0.10	0.20
14.4	2.4	2.4	3.0	0.18	0.37	0.19	0.38
14.4	3.6	2.4	3.0	0.26	0.53	0.27	0.54
14.4	4.8	2.4	3.0	0.34	0.69	0.34	0.70
14.4	1.2	3.0	3.0	0.10	0.20	0.11	0.21
14.4	2.4	3.0	3.0	0.20	0.37	0.20	0.39
14.4	3.6	3.0	3.0	0.27	0.53	0.28	0.53
14.4	4.8	3.0	3.0	0.34	0.69	0.35	0.72
14.4	1.2	1.2	4.0	0.10	0.20	0.10	0.21
14.4	2.4	1.2	4.0	0.20	0.40	0.20	0.40
14.4	3.6	1.2	4.0	0.27	0.54	0.28	0.54
14.4	4.8	1.2	4.0	0.35	0.70	0.35	0.70

**Tablo 4.3.2** Kazık hareketli yük dağılım katsayıları

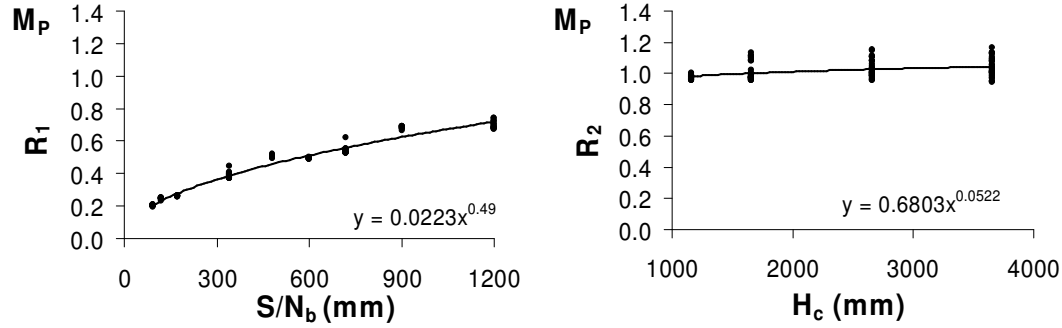
PARAMETRE				DAĞILIM KATSAYILARI			
W (m)	S (m)	P <sub>s</sub> (m)	H (m)	MOMENT		KESME KUVVETİ	
				Tek Tasarım şeridi yüklü	İki yada daha fazla Tasarım şeridi yüklü	Tek Tasarım şeridi yüklü	İki yada daha fazla Tasarım şeridi yüklü
14.4	1.2	1.8	4.0	0.10	0.21	0.10	0.21
14.4	2.4	1.8	4.0	0.20	0.41	0.20	0.41
14.4	3.6	1.8	4.0	0.28	0.55	0.27	0.53
14.4	4.8	1.8	4.0	0.36	0.72	0.36	0.73
14.4	1.2	2.4	4.0	0.10	0.20	0.10	0.20
14.4	2.4	2.4	4.0	0.20	0.40	0.20	0.40
14.4	3.6	2.4	4.0	0.27	0.54	0.28	0.55
14.4	4.8	2.4	4.0	0.35	0.71	0.35	0.72
14.4	1.2	3.0	4.0	0.10	0.20	0.10	0.20
14.4	2.4	3.0	4.0	0.20	0.40	0.20	0.40
14.4	3.6	3.0	4.0	0.27	0.54	0.28	0.55
14.4	4.8	3.0	4.0	0.34	0.69	0.35	0.71
14.4	1.2	1.2	5.0	0.10	0.21	0.10	0.21
14.4	2.4	1.2	5.0	0.20	0.39	0.20	0.39
14.4	3.6	1.2	5.0	0.28	0.55	0.29	0.55
14.4	4.8	1.2	5.0	0.36	0.72	0.37	0.73
14.4	1.2	1.8	5.0	0.10	0.21	0.11	0.21
14.4	2.4	1.8	5.0	0.20	0.39	0.20	0.39
14.4	3.6	1.8	5.0	0.29	0.55	0.29	0.57
14.4	4.8	1.8	5.0	0.37	0.74	0.38	0.75
14.4	1.2	2.4	5.0	0.10	0.20	0.10	0.21
14.4	2.4	2.4	5.0	0.19	0.38	0.20	0.39
14.4	3.6	2.4	5.0	0.28	0.55	0.29	0.56
14.4	4.8	2.4	5.0	0.36	0.73	0.37	0.74
14.4	1.2	3.0	5.0	0.11	0.21	0.10	0.22
14.4	2.4	3.0	5.0	0.22	0.45	0.20	0.41
14.4	3.6	3.0	5.0	0.30	0.62	0.29	0.60
14.4	4.8	3.0	5.0	0.35	0.74	0.36	0.76
7.2	1.2	1.2	3.0	0.14	0.26	0.14	0.27
7.2	2.4	1.2	3.0	0.27	0.49	0.27	0.50
7.2	1.2	2.4	3.0	0.14	0.26	0.14	0.27
7.2	2.4	2.4	3.0	0.26	0.49	0.27	0.49
7.2	1.2	3.0	3.0	0.14	0.27	0.14	0.27
7.2	2.4	3.0	3.0	0.27	0.49	0.27	0.50
7.2	1.2	1.2	4.0	0.15	0.26	0.14	0.27
7.2	2.4	1.2	4.0	0.27	0.50	0.28	0.52

**Tablo 4.3.3** Kazık hareketli yük dağılım katsayıları

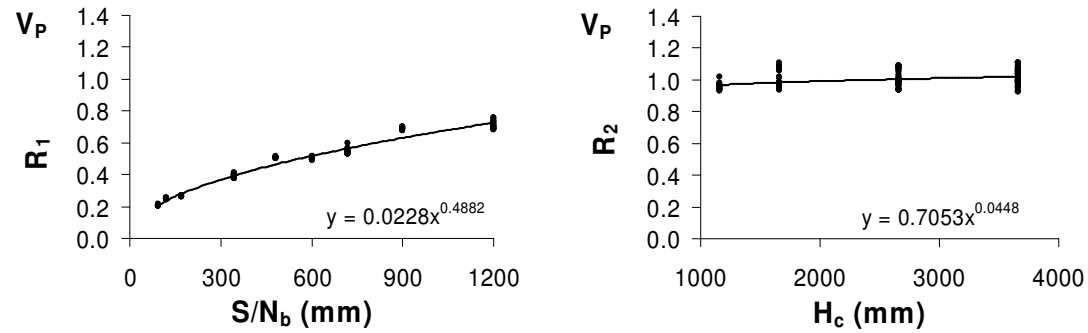
PARAMETRE				DAĞILIM KATSAYILARI			
W (m)	S (m)	P <sub>s</sub> (m)	H (m)	MOMENT		KESME KUVVETİ	
				Tek Tasarım şeridi yüklü	İki yada daha fazla Tasarım şeridi yüklü	Tek Tasarım şeridi yüklü	İki yada daha fazla Tasarım şeridi yüklü
7.2	1.2	2.4	4.0	0.14	0.26	0.15	0.26
7.2	2.4	2.4	4.0	0.27	0.50	0.27	0.51
7.2	1.2	3.0	4.0	0.15	0.26	0.15	0.26
7.2	2.4	3.0	4.0	0.27	0.50	0.28	0.51
7.2	1.2	1.2	5.0	0.15	0.26	0.14	0.26
7.2	2.4	1.2	5.0	0.27	0.49	0.26	0.50
7.2	1.2	2.4	5.0	0.15	0.26	0.14	0.26
7.2	2.4	2.4	5.0	0.28	0.49	0.28	0.49
7.2	1.2	3.0	5.0	0.15	0.26	0.15	0.26
7.2	2.4	3.0	5.0	0.28	0.49	0.27	0.50
10.8	1.2	1.2	3.0	0.12	0.25	0.12	0.25
10.8	2.4	1.2	3.0	0.24	0.50	0.25	0.51
10.8	3.6	1.2	3.0	0.32	0.67	0.33	0.68
10.8	1.2	2.4	3.0	0.11	0.23	0.12	0.24
10.8	2.4	2.4	3.0	0.24	0.50	0.26	0.51
10.8	3.6	2.4	3.0	0.34	0.69	0.34	0.69
10.8	1.2	3.0	3.0	0.12	0.25	0.12	0.25
10.8	2.4	3.0	3.0	0.24	0.50	0.24	0.50
10.8	3.6	3.0	3.0	0.33	0.68	0.33	0.68
10.8	1.2	1.2	4.0	0.12	0.25	0.13	0.25
10.8	2.4	1.2	4.0	0.25	0.50	0.26	0.50
10.8	3.6	1.2	4.0	0.33	0.68	0.34	0.69
10.8	1.2	2.4	4.0	0.12	0.25	0.12	0.25
10.8	2.4	2.4	4.0	0.25	0.52	0.25	0.50
10.8	3.6	2.4	4.0	0.33	0.68	0.33	0.69
10.8	1.2	3.0	4.0	0.12	0.25	0.12	0.25
10.8	2.4	3.0	4.0	0.25	0.52	0.25	0.50
10.8	3.6	3.0	4.0	0.33	0.68	0.33	0.69
10.8	1.2	1.2	5.0	0.12	0.25	0.13	0.25
10.8	2.4	1.2	5.0	0.25	0.50	0.25	0.51
10.8	3.6	1.2	5.0	0.34	0.69	0.34	0.70
10.8	1.2	2.4	5.0	0.12	0.25	0.12	0.25
10.8	2.4	2.4	5.0	0.24	0.49	0.24	0.50
10.8	3.6	2.4	5.0	0.33	0.69	0.34	0.70
10.8	1.2	3.0	5.0	0.12	0.25	0.12	0.25
10.8	2.4	3.0	5.0	0.24	0.49	0.25	0.50
10.8	3.6	3.0	5.0	0.33	0.69	0.34	0.70

### 4.3.2 İKİ YA DA DAHA FAZLA TASARIM ŞERİDİNİN YÜKLÜ OLMASI DURUMU İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ OLAN FORMÜLLER

Bölüm 4.3.1’de ifade edilmiş olanların ışığında iki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumundaki sonuçlar göz önünde bulundurularak çizilmiş olan grafikler ve elde edilmiş olan eğri denklemleri aşağıda gösterildiği gibidir. İntegral köprülerde iki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumunda kazık momenti ve kesme kuvveti hareketli yük dağılım formülü olarak kullanılması önerilen denklem 4.3.1 ve 4.3.2’deki gibidir.



**Şekil 4.3.1** Kazık momenti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$  ve  $R_2$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri



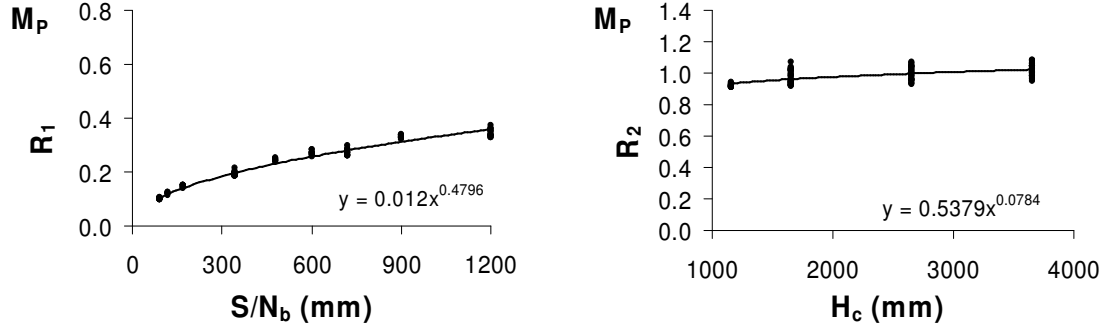
**Şekil 4.3.2** Kazık kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$  ve  $R_2$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

$$MP_{2DF} = \frac{1}{66} \left( \frac{S}{N_b} \right)^{0.5} \cdot H_c^{0.05} \quad (4.3.1)$$

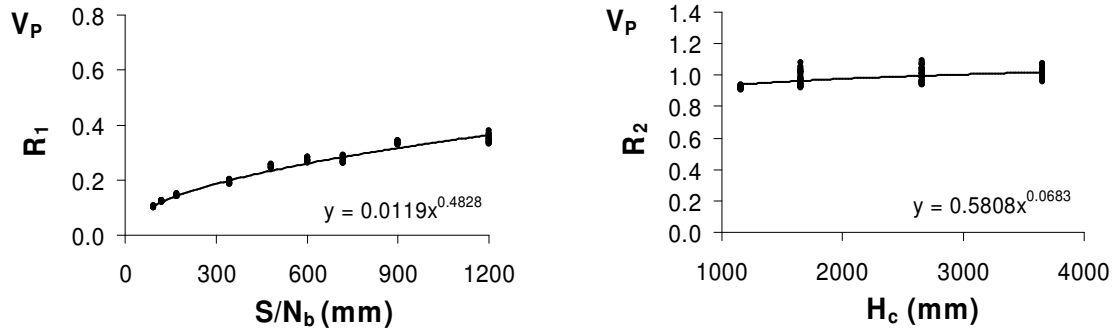
$$VP_{2DF} = \frac{1}{60} \left( \frac{S}{N_b} \right)^{0.5} \cdot H_c^{0.04} \quad (4.3.2)$$

### 4.3.3 TEK TASARIM ŞERİDİNİN YÜKLÜ OLMASI DURUMU İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ OLAN FORMÜLLER

Bölüm 4.3.1’ de ifade edilmiş olanların ışığında tek tasarım şeridinin yüklü olması durumundaki sonuçlar göz önünde bulundurularak çizilmiş olan grafikler ve elde edilmiş olan eğri denklemleri aşağıda gösterildiği gibidir. İntegral köprülerde tek tasarım şeridinin yüklü olması durumunda kazık momenti ve kesme kuvveti hareketli yük dağılım formülü olarak kullanılması önerilen denklem 4.3.3 ve 4.3.4’deki gibidir.



**Şekil 4.3.3** Kazık momenti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili R<sub>1</sub> ve R<sub>2</sub> ifadelerinin regresyon analiz grafikleri



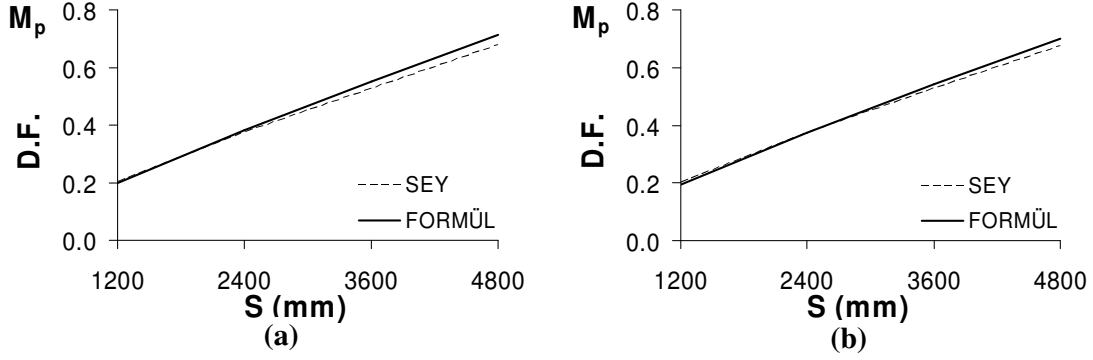
**Şekil 4.3.4** Kazık kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili R<sub>1</sub> ve R<sub>2</sub> ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

$$MP_{1DF} = \frac{1}{160} \left( \frac{S}{N_b} \right)^{0.5} \cdot H_c^{0.07} \quad (4.3.3)$$

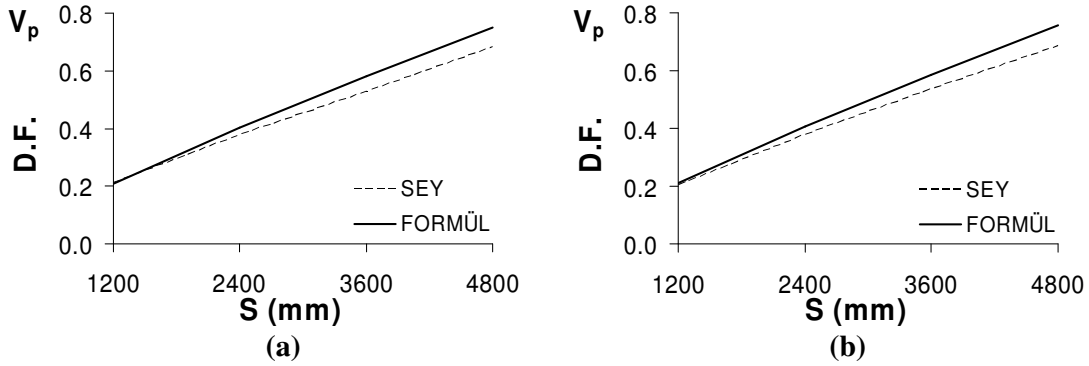
$$VP_{1DF} = \frac{1}{145} \left( \frac{S}{N_b} \right)^{0.5} \cdot H_c^{0.06} \quad (4.3.4)$$

#### 4.3.4 YENİ FORMÜLLERİN, ANALİZ SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Sonlu elemanlar yöntemi (SEY) kullanılarak elde edilen sonuçlar, integral köprülerin kazık hareketli dağılım katsayılarını hesaplamak için geliştirilmiş olan hareketli yük dağılım formülleriyle hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaları gösteren grafikler Şekil 4.3.5 ve 4.3.6’ da gösterildiği gibidir.



Şekil 4.3.5 SEY ve Yeni formül ile hesaplanmış moment hareketli yük dağılım katsayılarının karşılaştırılması a) ( $W=14.4$  m,  $H= 3$  m  $P_s=1.2$  m) (b) ( $W=14.4$  m,  $H= 2.4$  m  $P_s=1.2$  m)



Şekil 4.3.6 SEY ve Yeni formül ile hesaplanmış kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayılarının karşılaştırılması a) ( $W=14.4$  m,  $H= 3$  m  $P_s=1.2$  m) (b) ( $W=14.4$  m,  $H= 2.4$  m  $P_s=1.2$  m)



Ayrıca aşağıdaki tablo, yeni türetilmiş olan formüllerden hesaplanmış olan kazık hareketli yük dağılım katsayılarının, analiz sonuçlarından elde edilmiş olan kazık hareketli yük dağılım katsayılarına oranlarının ortalama ve standard sapma değerlerini göstermektedir.

**Tablo 4.3.4** Kazık formülleri ortalama ve Standard sapma değerleri

	Yüklü Şerit Sayısı	Yeni Formül	
		AVG	STD
$M_{kazık}$	Tek	1.05	0.05
	İki veya daha fazla	1.01	0.05
$V_{kazık}$	Tek	1.04	0.05
	İki veya daha fazla	1.05	0.05

#### 4.4. UÇ AYAK İÇİN HAREKETLİ YÜK DAĞILIM FORMÜLLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Hareketli yüklerin integral köprü uç ayaklarına etkisini belirlemek için tasarım standartlarında bir formül bulunmamaktadır. Bu çalışmada integral köprü uç ayakları için geliştirilmiş olan formüller bu alanda bir ilk olma özelliğine sahiptir. Bu amaçla, çeşitli kiriş aralığına, köprü genişliğine (kiriş sayısına), açıklığa, kiriş tipine, köprünün inşa edildiği zemin tipine, kazık ebadı ve sayısına ve uç ayak yüksekliğine sahip yaklaşık 1200 farklı yapısal model kurularak AASHTO hareketli yükleri altında analiz edilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlardan bazıları Tablo 4.4.1-5’de verilmiştir. Daha sonra, integral köprülerin kiriş ve kazık hareketli yük dağılım formüllerinin geliştirilmesinde olduğu gibi doğrusal olmayan regresyon yönteminden yararlanılarak integral köprülerin uç ayakları için hareketli yük dağılım formülleri geliştirilmiştir. Uç ayak hareketli yük dağılım formüllerinin geliştirilmesi ile ilgili detaylar ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

**Tablo 4.4.1** Uç ayak hareketli yük dağılım katsayıları

PARAMETRE							DAĞILIM KATSAYILARI			
S (m)	L (m)	GT	H (m)	C <sub>u</sub> (m)	d <sub>p</sub> (m)	N <sub>p</sub>	Moment	K. Kuvveti	Moment	K. Kuvveti
							Tek Tasarım şeridi yükü	İki yada daha fazla tasarım şeridi yükü	Tek tasarım şeridi yükü	İki yada daha fazla Tasarım şeridi yükü
1.2	20	2	3	40	0.25	13	0.21	0.27	0.10	0.20
1.2	20	2	3	80	0.25	13	0.19	0.26	0.10	0.20
1.2	20	2	3	40	0.31	13	0.19	0.26	0.10	0.20
1.2	20	2	3	80	0.31	13	0.19	0.26	0.09	0.20
1.2	20	2	3	40	0.25	7	0.24	0.28	0.09	0.19
1.2	20	2	3	80	0.25	7	0.22	0.26	0.09	0.19
1.2	20	2	3	40	0.31	7	0.22	0.27	0.09	0.19
1.2	20	2	3	80	0.31	7	0.20	0.25	0.09	0.19
1.2	20	2	5	40	0.25	13	0.17	0.24	0.10	0.20
1.2	20	2	5	80	0.25	13	0.16	0.24	0.10	0.20
1.2	20	2	5	40	0.31	13	0.17	0.24	0.09	0.20
1.2	20	2	5	80	0.31	13	0.16	0.23	0.10	0.20
1.2	20	2	5	40	0.25	7	0.17	0.24	0.10	0.20
1.2	20	2	5	80	0.25	7	0.17	0.24	0.10	0.20
1.2	20	2	5	40	0.31	7	0.17	0.24	0.10	0.20
1.2	20	2	5	80	0.31	7	0.17	0.23	0.10	0.20
2.4	20	2	3	40	0.25	13	0.36	0.51	0.17	0.38
2.4	20	2	3	80	0.25	13	0.33	0.50	0.18	0.39
2.4	20	2	3	40	0.31	13	0.32	0.47	0.18	0.38
2.4	20	2	3	80	0.31	13	0.32	0.48	0.18	0.39
2.4	20	2	3	40	0.25	7	0.39	0.53	0.17	0.37
2.4	20	2	3	80	0.25	7	0.36	0.50	0.17	0.37
2.4	20	2	3	40	0.31	7	0.35	0.47	0.17	0.38
2.4	20	2	3	80	0.31	7	0.32	0.45	0.17	0.38
2.4	20	2	5	40	0.25	13	0.30	0.46	0.18	0.39
2.4	20	2	5	80	0.25	13	0.30	0.46	0.18	0.39
2.4	20	2	5	40	0.31	13	0.30	0.47	0.18	0.39
2.4	20	2	5	80	0.31	13	0.29	0.46	0.19	0.39
2.4	20	2	5	40	0.25	7	0.31	0.47	0.18	0.39
2.4	20	2	5	80	0.25	7	0.30	0.46	0.18	0.39
2.4	20	2	5	40	0.31	7	0.30	0.46	0.18	0.39
2.4	20	2	5	80	0.31	7	0.30	0.46	0.18	0.39
3.6	20	2	3	40	0.25	13	0.49	0.78	0.29	0.60
3.6	20	2	3	80	0.25	13	0.47	0.68	0.27	0.60
3.6	20	2	3	40	0.31	13	0.47	0.77	0.29	0.60
3.6	20	2	3	80	0.31	13	0.45	0.75	0.30	0.61
3.6	20	2	3	40	0.25	7	0.51	0.78	0.28	0.59
3.6	20	2	3	80	0.25	7	0.49	0.77	0.29	0.59
3.6	20	2	3	40	0.31	7	0.49	0.78	0.29	0.59

**Tablo 4.4.2** Uç ayak hareketli yük dağılım katsayıları

PARAMETRE							DAĞILIM KATSAYILARI			
S (m)	L (m)	GT	H (m)	C <sub>u</sub> (m)	d <sub>p</sub> (m)	N <sub>p</sub>	Moment	K. Kuvveti	Moment	K. Kuvveti
							Tek Tasarım şeridi yükülü	İki yada daha fazla Tasarım şeridi yükülü	Tek Tasarım şeridi yükülü	İki yada daha fazla Tasarım şeridi yükülü
3.6	20	2	5	40	0.25	13	0.43	0.73	0.31	0.62
3.6	20	2	5	80	0.25	13	0.43	0.72	0.31	0.62
3.6	20	2	5	40	0.31	13	0.43	0.73	0.31	0.62
3.6	20	2	5	80	0.31	13	0.43	0.72	0.31	0.62
3.6	20	2	5	40	0.25	7	0.43	0.74	0.30	0.62
3.6	20	2	5	80	0.25	7	0.43	0.73	0.31	0.62
3.6	20	2	5	40	0.31	7	0.43	0.73	0.30	0.62
3.6	20	2	5	80	0.31	7	0.43	0.72	0.31	0.62
4.8	20	2	3	40	0.25	13	0.56	0.90	0.35	0.72
4.8	20	2	3	80	0.25	13	0.54	0.89	0.35	0.73
4.8	20	2	3	40	0.31	13	0.54	0.89	0.35	0.72
4.8	20	2	3	80	0.31	13	0.52	0.89	0.36	0.74
4.8	20	2	3	40	0.25	7	0.58	0.93	0.34	0.71
4.8	20	2	3	80	0.25	7	0.56	0.90	0.34	0.71
4.8	20	2	3	40	0.31	7	0.56	0.91	0.34	0.71
4.8	20	2	3	80	0.31	7	0.54	0.90	0.35	0.72
4.8	20	2	5	40	0.25	13	0.50	0.85	0.36	0.75
4.8	20	2	5	80	0.25	13	0.50	0.86	0.37	0.76
4.8	20	2	5	40	0.31	13	0.51	0.85	0.37	0.75
4.8	20	2	5	80	0.31	13	0.50	0.85	0.37	0.76
4.8	20	2	5	40	0.25	7	0.51	0.87	0.37	0.75
4.8	20	2	5	80	0.25	7	0.50	0.86	0.37	0.75
4.8	20	2	5	40	0.31	7	0.51	0.86	0.37	0.75
4.8	20	2	5	80	0.31	7	0.50	0.86	0.37	0.75
1.2	40	6	3	40	0.25	13	0.52	0.47	0.10	0.19
1.2	40	6	3	80	0.25	13	0.39	0.39	0.10	0.19
1.2	40	6	3	40	0.31	13	0.39	0.37	0.10	0.19
1.2	40	6	3	80	0.31	13	0.31	0.34	0.10	0.19
1.2	40	6	3	40	0.25	7	0.72	0.60	0.09	0.19
1.2	40	6	3	80	0.25	7	0.55	0.48	0.10	0.20
1.2	40	6	3	40	0.31	7	0.55	0.49	0.10	0.20
1.2	40	6	3	80	0.31	7	0.42	0.40	0.11	0.20
1.2	40	6	5	40	0.25	13	0.23	0.28	0.11	0.21
1.2	40	6	5	80	0.25	13	0.21	0.27	0.11	0.21
1.2	40	6	5	40	0.31	13	0.22	0.28	0.11	0.21
1.2	40	6	5	80	0.31	13	0.20	0.26	0.11	0.21
1.2	40	6	5	40	0.25	7	0.25	0.29	0.11	0.21
1.2	40	6	5	80	0.25	7	0.24	0.28	0.11	0.21
1.2	40	6	5	40	0.31	7	0.24	0.29	0.11	0.21

**Tablo 4.4.3** Uç ayak hareketli yük dağılım katsayıları

PARAMETRE							DAĞILIM KATSAYILARI			
S (m)	L (m)	GT	H (m)	C <sub>u</sub> (m)	d <sub>p</sub> (m)	N <sub>p</sub>	Moment	K. Kuvveti	Moment	K. Kuvveti
							Tek Tasarım şeridi yükülü	İki yada daha fazla Tasarım şeridi yükülü	Tek Tasarım şeridi yükülü	İki yada daha fazla Tasarım şeridi yükülü
2.4	40	6	3	40	0.25	13	<b>0.59</b>	<b>0.80</b>	<b>0.18</b>	<b>0.37</b>
2.4	40	6	3	80	0.25	13	<b>0.48</b>	<b>0.68</b>	<b>0.19</b>	<b>0.37</b>
2.4	40	6	3	40	0.31	13	<b>0.48</b>	<b>0.69</b>	<b>0.18</b>	<b>0.37</b>
2.4	40	6	3	80	0.31	13	<b>0.41</b>	<b>0.61</b>	<b>0.19</b>	<b>0.38</b>
2.4	40	6	3	40	0.25	7	<b>0.81</b>	<b>0.97</b>	<b>0.17</b>	<b>0.38</b>
2.4	40	6	3	80	0.25	7	<b>0.63</b>	<b>0.81</b>	<b>0.18</b>	<b>0.38</b>
2.4	40	6	3	40	0.31	7	<b>0.63</b>	<b>0.83</b>	<b>0.18</b>	<b>0.38</b>
2.4	40	6	3	80	0.31	7	<b>0.50</b>	<b>0.70</b>	<b>0.18</b>	<b>0.39</b>
2.4	40	6	5	40	0.25	13	<b>0.33</b>	<b>0.53</b>	<b>0.20</b>	<b>0.40</b>
2.4	40	6	5	80	0.25	13	<b>0.32</b>	<b>0.51</b>	<b>0.20</b>	<b>0.40</b>
2.4	40	6	5	40	0.31	13	<b>0.32</b>	<b>0.52</b>	<b>0.20</b>	<b>0.40</b>
2.4	40	6	5	80	0.31	13	<b>0.31</b>	<b>0.50</b>	<b>0.20</b>	<b>0.41</b>
2.4	40	6	5	40	0.25	7	<b>0.35</b>	<b>0.53</b>	<b>0.20</b>	<b>0.40</b>
2.4	40	6	5	80	0.25	7	<b>0.33</b>	<b>0.52</b>	<b>0.20</b>	<b>0.40</b>
2.4	40	6	5	40	0.31	7	<b>0.34</b>	<b>0.53</b>	<b>0.20</b>	<b>0.40</b>
2.4	40	6	5	80	0.31	7	<b>0.32</b>	<b>0.51</b>	<b>0.20</b>	<b>0.40</b>
3.6	40	6	3	40	0.25	13	<b>0.80</b>	<b>1.15</b>	<b>0.28</b>	<b>0.57</b>
3.6	40	6	3	80	0.25	13	<b>0.65</b>	<b>1.01</b>	<b>0.29</b>	<b>0.59</b>
3.6	40	6	3	40	0.31	13	<b>0.64</b>	<b>1.01</b>	<b>0.29</b>	<b>0.58</b>
3.6	40	6	3	80	0.31	13	<b>0.56</b>	<b>0.92</b>	<b>0.30</b>	<b>0.61</b>
3.6	40	6	3	40	0.25	7	<b>0.92</b>	<b>1.39</b>	<b>0.27</b>	<b>0.62</b>
3.6	40	6	3	80	0.25	7	<b>0.72</b>	<b>1.16</b>	<b>0.28</b>	<b>0.60</b>
3.6	40	6	3	40	0.31	7	<b>0.70</b>	<b>1.16</b>	<b>0.27</b>	<b>0.60</b>
3.6	40	6	3	80	0.31	7	<b>0.62</b>	<b>1.02</b>	<b>0.28</b>	<b>0.61</b>
3.6	40	6	5	40	0.25	13	<b>0.47</b>	<b>0.80</b>	<b>0.31</b>	<b>0.64</b>
3.6	40	6	5	80	0.25	13	<b>0.45</b>	<b>0.79</b>	<b>0.31</b>	<b>0.64</b>
3.6	40	6	5	40	0.31	13	<b>0.46</b>	<b>0.80</b>	<b>0.31</b>	<b>0.64</b>
3.6	40	6	5	80	0.31	13	<b>0.45</b>	<b>0.78</b>	<b>0.32</b>	<b>0.64</b>
3.6	40	6	5	40	0.25	7	<b>0.49</b>	<b>0.81</b>	<b>0.31</b>	<b>0.63</b>
3.6	40	6	5	80	0.25	7	<b>0.47</b>	<b>0.79</b>	<b>0.31</b>	<b>0.63</b>
3.6	40	6	5	40	0.31	7	<b>0.48</b>	<b>0.80</b>	<b>0.31</b>	<b>0.63</b>
3.6	40	6	5	80	0.31	7	<b>0.46</b>	<b>0.78</b>	<b>0.31</b>	<b>0.63</b>
4.8	40	6	3	40	0.25	13	<b>0.89</b>	<b>1.23</b>	<b>0.33</b>	<b>0.73</b>
4.8	40	6	3	80	0.25	13	<b>0.74</b>	<b>1.11</b>	<b>0.34</b>	<b>0.73</b>
4.8	40	6	3	40	0.31	13	<b>0.74</b>	<b>1.12</b>	<b>0.34</b>	<b>0.74</b>
4.8	40	6	3	80	0.31	13	<b>0.65</b>	<b>1.04</b>	<b>0.35</b>	<b>0.72</b>
4.8	40	6	3	40	0.25	7	<b>0.95</b>	<b>1.48</b>	<b>0.32</b>	<b>0.73</b>
4.8	40	6	3	80	0.25	7	<b>0.80</b>	<b>1.28</b>	<b>0.33</b>	<b>0.71</b>
4.8	40	6	3	40	0.31	7	<b>0.80</b>	<b>1.29</b>	<b>0.32</b>	<b>0.71</b>

**Tablo 4.4.4** Uç ayak hareketli yük dağılım katsayıları

PARAMETRE							DAĞILIM KATSAYILARI			
S (m)	L (m)	GT	H (m)	C <sub>u</sub> (m)	d <sub>p</sub> (m)	N <sub>p</sub>	Moment	K. Kuvveti	Moment	K. Kuvveti
							Tek Tasarım şeridi yükülü	İki yada daha fazla Tasarım şeridi yükülü	Tek Tasarım şeridi yükülü	İki yada daha fazla Tasarım şeridi yükülü
2.4	15	2	3	40	0.25	10	0.47	0.62	0.23	0.51
2.4	15	2	3	80	0.25	10	0.44	0.62	0.22	0.52
2.4	15	2	3	40	0.31	10	0.45	0.62	0.23	0.51
2.4	15	2	3	80	0.31	10	0.41	0.61	0.22	0.51
2.4	15	2	3	40	0.25	5	0.51	0.61	0.23	0.50
2.4	15	2	3	80	0.25	5	0.47	0.58	0.23	0.50
2.4	15	2	3	40	0.31	5	0.48	0.60	0.23	0.50
2.4	15	2	3	80	0.31	5	0.44	0.58	0.23	0.51
3.6	15	2	3	40	0.25	10	0.58	0.93	0.33	0.72
3.6	15	2	3	80	0.25	10	0.59	0.92	0.33	0.71
3.6	15	2	3	40	0.31	10	0.59	0.92	0.33	0.72
3.6	15	2	3	80	0.31	10	0.57	0.91	0.33	0.71
3.6	15	2	3	40	0.25	5	0.64	0.89	0.32	0.70
3.6	15	2	3	80	0.25	5	0.60	0.90	0.33	0.71
3.6	15	2	3	40	0.31	5	0.61	0.88	0.33	0.70
3.6	15	2	3	80	0.31	5	0.58	0.87	0.33	0.72
2.4	25	2	3	40	0.25	10	0.35	0.58	0.23	0.51
2.4	25	2	3	80	0.25	10	0.34	0.58	0.23	0.52
2.4	25	2	3	40	0.31	10	0.34	0.57	0.23	0.50
2.4	25	2	3	80	0.31	10	0.35	0.59	0.24	0.51
2.4	25	2	3	40	0.25	5	0.35	0.56	0.23	0.50
2.4	25	2	3	80	0.25	5	0.34	0.55	0.24	0.52
2.4	25	2	3	40	0.31	5	0.34	0.55	0.23	0.50
2.4	25	2	3	80	0.31	5	0.33	0.55	0.23	0.50
3.6	25	2	3	40	0.25	10	0.49	0.87	0.35	0.72
3.6	25	2	3	80	0.25	10	0.48	0.88	0.36	0.71
3.6	25	2	3	40	0.31	10	0.49	0.83	0.35	0.72
3.6	25	2	3	80	0.31	10	0.48	0.87	0.36	0.71
3.6	25	2	3	40	0.25	5	0.48	0.84	0.34	0.71
3.6	25	2	3	80	0.25	5	0.47	0.84	0.34	0.72
3.6	25	2	3	40	0.31	5	0.48	0.84	0.34	0.71
3.6	25	2	3	80	0.31	5	0.42	0.85	0.33	0.69
2.4	35	6	3	40	0.25	10	0.65	0.73	0.21	0.48
2.4	35	6	3	80	0.25	10	0.55	0.70	0.23	0.50
2.4	35	6	3	40	0.31	10	0.55	0.71	0.21	0.48
2.4	35	6	3	80	0.31	10	0.48	0.66	0.22	0.48
2.4	35	6	3	40	0.25	5	0.87	0.92	0.20	0.48
2.4	35	6	3	80	0.25	5	0.67	0.81	0.21	0.47
2.4	35	6	3	40	0.31	5	0.68	0.82	0.21	0.47

**Tablo 4.4.5** Uç ayak hareketli yük dağılım katsayıları

PARAMETRE							DAĞILIM KATSAYILARI			
S (m)	L (m)	GT	H (m)	C <sub>u</sub> (m)	d <sub>p</sub> (m)	N <sub>p</sub>	Moment	K. Kuvveti	Moment	K. Kuvveti
							Tek Tasarım şeridi yükklü	İki yada daha fazla Tasarım şeridi yükklü	Tek Tasarım şeridi yükklü	İki yada daha fazla Tasarım şeridi yükklü
3.6	35	6	3	40	0.25	10	0.82	1.26	0.30	0.68
3.6	35	6	3	80	0.25	10	0.75	1.15	0.32	0.73
3.6	35	6	3	40	0.31	10	0.75	1.15	0.31	0.71
3.6	35	6	3	80	0.31	10	0.69	1.01	0.33	0.73
3.6	35	6	3	40	0.25	5	0.95	1.37	0.32	0.64
3.6	35	6	3	80	0.25	5	0.87	1.22	0.30	0.67
3.6	35	6	3	40	0.31	5	0.87	1.23	0.32	0.66
3.6	35	6	3	80	0.31	5	0.80	1.11	0.31	0.69
2.4	45	6	3	40	0.25	10	0.48	0.61	0.23	0.47
2.4	45	6	3	80	0.25	10	0.43	0.65	0.25	0.51
2.4	45	6	3	40	0.31	10	0.43	0.59	0.24	0.48
2.4	45	6	3	80	0.31	10	0.39	0.63	0.25	0.52
2.4	45	6	3	40	0.25	5	0.56	0.67	0.22	0.46
2.4	45	6	3	80	0.25	5	0.48	0.63	0.22	0.47
2.4	45	6	3	40	0.31	5	0.48	0.64	0.22	0.46
2.4	45	6	3	80	0.31	5	0.41	0.60	0.23	0.47
3.6	45	6	3	40	0.25	10	0.56	1.02	0.32	0.66
3.6	45	6	3	80	0.25	10	0.46	1.04	0.34	0.72
3.6	45	6	3	40	0.31	10	0.63	0.97	0.34	0.68
3.6	45	6	3	80	0.31	10	0.58	0.92	0.33	0.72
3.6	45	6	3	40	0.25	5	0.81	1.14	0.33	0.64
3.6	45	6	3	80	0.25	5	0.69	1.05	0.32	0.66
3.6	45	6	3	40	0.31	5	0.70	1.06	0.33	0.65
3.6	45	6	3	80	0.31	5	0.62	1.00	0.34	0.68
2.4	45	6	5	40	0.25	10	0.33	0.56	0.23	0.52
2.4	45	6	5	80	0.25	10	0.33	0.58	0.25	0.51
2.4	45	6	5	40	0.31	10	0.33	0.57	0.25	0.52
2.4	45	6	5	80	0.31	10	0.32	0.55	0.25	0.52
2.4	45	6	5	40	0.25	5	0.34	0.56	0.24	0.51
2.4	45	6	5	80	0.25	5	0.33	0.56	0.25	0.51
2.4	45	6	5	40	0.31	5	0.33	0.56	0.24	0.51
2.4	45	6	5	80	0.31	5	0.32	0.56	0.25	0.51
3.6	45	6	5	40	0.25	10	0.47	0.85	0.35	0.72
3.6	45	6	5	80	0.25	10	0.47	0.83	0.35	0.72
3.6	45	6	5	40	0.31	10	0.47	0.85	0.35	0.72
3.6	45	6	5	80	0.31	10	0.49	0.91	0.35	0.73
3.6	45	6	5	40	0.25	5	0.46	0.83	0.34	0.71
3.6	45	6	5	80	0.25	5	0.46	0.83	0.34	0.72
3.6	45	6	5	40	0.31	5	0.46	0.83	0.34	0.71

## 4.4.1 FORMÜLLERİN GELİŞTİRİLMESİ İLE İLGİLİ SAYISAL YÖNTEMİN İRDELENMESİ

### 4.4.1.1 Uç Ayak Moment Hareketli Yük Dağılım Formüllerin Geliştirilmesi İle İlgili Sayısal Yöntemin İrdelenmesi

AASHTO formüllerinin geliştirilmesinde, Zokaie (2000) her bir parametrenin  $a.x^b$  şeklinde bir üstel fonksiyonla tarif ettiğinden önceki bölümlerde bahsedilmiştir. İntegral köprülerde uç ayak hareketli yük dağılım katsayılarını veren formüller benzer bir yaklaşımla elde edilmişlerdir. Öncelikle, integral köprülerin analizlerinden elde edilen uç ayak hareketli yük dağılım katsayılarının kiriş aralığı ( $S$ ) ile doğru ve köprü genişliği (kiriş sayısı ( $N_b$ )) ile ters orantılı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Bu sebepten dolayı, öncelikle analizlerden elde edilmiş olan uç ayak hareketli yük dağılım katsayıları,  $S/N_b$  oranının bir fonksiyonu olacak

şekilde çizilmiş ve bu grafikten elde edilen eğrinin denklemi  $R_1 = a_1 \cdot \left( \frac{S}{N_b} \right)^{b_1}$  olarak formüle

edilmiştir. Daha sonra, uç ayak hareketli yük dağılım katsayıları, her bir köprü için daha önce elde edilmiş olan,  $R_1 = a_1 \cdot \left( \frac{S}{N_b} \right)^{b_1}$  denkleminden elde edilen katsayılara oranlanarak yeni  $R_2$

katsayıları elde edilmiştir. Bunun yapılmasındaki amaç, hiçbir parametrenin, hareketli yük dağılımı üzerindeki etkisinin bir diğerinden bağımsız olarak düşünülemeyeceğidir. Elde edilen bu katsayıların,  $K_g$ 'nin bir fonksiyonu olarak çizilen grafiğinden elde edilen eğrinin denklemi  $R_2 = a_2 \cdot K_g^{b_2}$  olarak ifade edilmiştir. Daha sonra, hareketli yük dağılım

katsayılarının,  $R_1$  ve  $R_2$ 'nin çarpımından elde edilen katsayıların çarpımına oranlanarak  $R_3$  katsayıları elde edilmiştir.  $R_3$  katsayılarının uç ayağın ankastre yüksekliğine ( $H_c$ ) (Uç ayak boyundan kiriş boyu ve tabliye kalınlığı çıkarılarak elde edilen yükseklik) göre çizilen grafiklerinden elde edilen eğrinin denklemi  $R_3 = a_3 \cdot H_c^{b_3}$  olarak ifade edilmiştir. Bu işlemten sonra, hareketli yük dağılım katsayıları,  $R_1$ ,  $R_2$  ve  $R_3$ 'ün çarpımından elde edilen katsayıların çarpımına oranlanarak  $R_4$  katsayıları elde edilmiştir.  $R_4$  katsayılarının açıklık uzunluğuna göre çizilmiş olan grafiklerinden elde edilmiş olan denklem  $R_4 = a_4 \cdot L^{b_4}$  olarak tarif edilmiştir.

Daha sonra, hareketli yük dağılım katsayıları,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  ve  $R_4$ 'ün çarpımından elde edilen katsayıların çarpımına oranlanarak  $R_5$  katsayıları elde edilmiştir.  $R_5$  katsayılarının kazık atalet momentine ( $I_p$ ) göre çizilen grafiklerinden elde edilen denklem  $R_5 = a_5 \cdot I_p^{b_5}$  olarak tarif edilmiştir. Daha sonra, hareketli yük dağılım katsayıları,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  ve  $R_5$ 'in çarpımından elde edilen katsayıların çarpımına oranlanarak  $R_6$  katsayıları elde edilmiştir.  $R_6$  katsayılarının, temel zemini drenajsız kayma mukavemeti ( $C_u$ ) ile kazık çapının ( $d_p$ ) çarpımının,  $\varepsilon_{50}$ 'ye ( $\varepsilon_{50}$ : Zemin taşıma gücü,  $Q_u$ 'nun %50 sine karşılık gelen birim şekil değiştirme) oranında elde edilen katsayıya ( $\mu$ ) göre çizilen grafiklerinden elde edilen eğrinin denklemi  $R_6 = a_6 \cdot \mu^{b_6}$  olarak tarif edilmiştir. Son olarak, hareketli yük dağılım katsayıları,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$  ve  $R_6$ 'nin çarpımına oranlanarak  $R_7$  katsayıları elde edilmiştir.  $R_7$  katsayılarının kazık sayısının kiriş sayısının oranına ( $N_p/N_b$ ) göre çizilmiş olan grafiklerinden elde edilmiş olan eğrinin

denklemi  $R_7 = a_7 \cdot \left( \frac{N_p}{N_b} \right)^{b_7}$  olarak bulunmuştur. Sonuç olarak,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$  ve  $R_7$ 'nin

çarpımından uç ayak momenti hareketli yük dağılım katsayılarını veren formüller elde edilmiştir.

#### 4.4.1.2 Uç Ayak Kesme Kuvveti Hareketli Yük Dağılım Formüllerin Geliştirilmesi İle İlgili Sayısal Yöntemin İrdelenmesi

Analiz sonuçlarından elde edilen köprü uç ayak kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayıları incelendiğinde, bu katsayılar giriş aralığının giriş sayısına oranının ( $S/N_b$ ) ve uç ayağın ankastre yüksekliğinin ( $H_c$ ) oldukça fazla, diğer parametrelerin etkisinin ise ihmal edilebilir olduğu tespit edilmiştir. Bu sebepten dolayı, uç ayak hareketli yük dağılım formülleri,  $S/N_b$  oranının ve  $H_c$  nin bir fonksiyonu olacak şekilde elde edilmiştir. Bu amaçla öncelikle, analiz sonuçlarından elde edilen köprü uç ayak kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayılarının,  $S/N_b$  oranının bir fonksiyonu olacak şekilde grafikleri çizilmiş ve bu

grafiklerden elde edilen eğrinin denklemi  $R_1 = a_1 \cdot \left( \frac{S}{N_b} \right)^{b_1}$  olarak formüle edilmiştir. Daha

sonra, uç ayak kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayıları, her bir köprü için daha önce

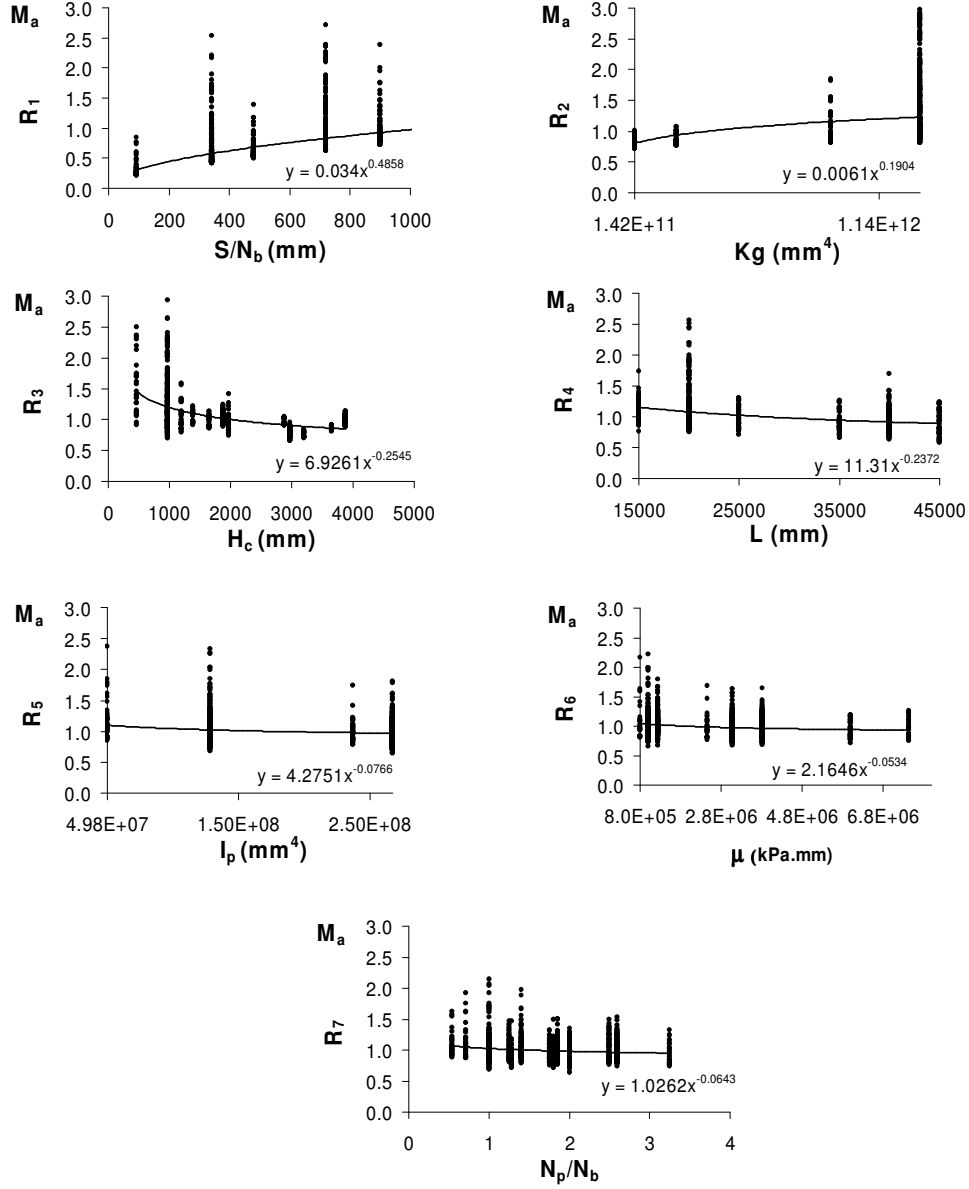
elde edilmiş olan,  $R_1 = a_1 \cdot \left( \frac{S}{N_b} \right)^{b_1}$  denkleminden elde edilen katsayılar oranlanarak yeni  $R_2$

katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen bu katsayıların, uç ayak ankastre yüksekliğinin ( $H_c$ )'nin bir fonksiyonu olarak çizilen grafiğinden elde edilen eğrinin denklemi  $R_2 = a_2 \cdot H_c^{b_2}$  olarak ifade edilmiştir. Sonuç olarak,  $R_1$  ve  $R_2$ 'nin çarpımından integral köprülerin uç ayak kesme kuvvetinin hesaplanmasında kullanılmak üzere hareketli yük dağılım formülleri elde edilmiştir.

#### 4.4.2 İKİ YA DA DAHA FAZLA TASARIM ŞERİDİNİN YÜKLÜ OLMASI DURUMU İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ OLAN UÇ AYAK MOMENTİ HAREKETLİ YÜK DAĞILIM FORMÜLÜ

Bölüm 4.4.1.1'de ifade edilmiş olanların ışığında iki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumundaki sonuçlar göz önünde bulundurularak çizilmiş olan grafikler (Şekil 4.4.1) ve elde edilmiş olan eğri denklemleri aşağıda gösterildiği gibidir. Integral köprülerde iki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumunda uç ayak momenti hareketli yük dağılım formülü olarak kullanılması önerilen denklem 4.4.1'deki gibidir.



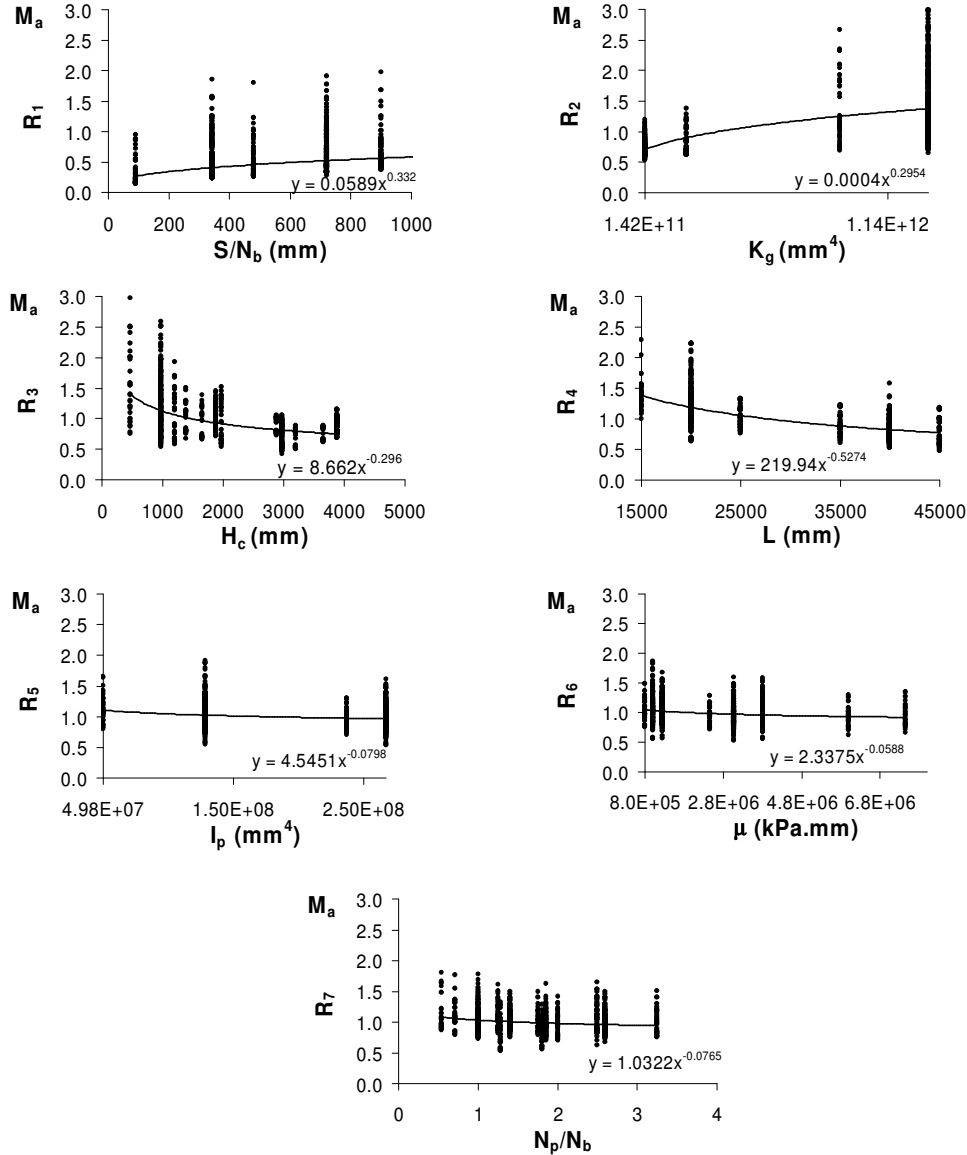


**Şekil 4.4.1** Uç ayak momenti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$  ve  $R_7$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

$$MU_{2DF} = \frac{S^{0.5} \cdot K_g^{0.2}}{7 \cdot N_b^{0.44} \cdot H_c^{0.25} \cdot L^{0.25} \cdot I_p^{0.08} \cdot \mu^{0.06} \cdot N_p^{0.06}} \quad (4.4.1)$$

#### 4.4.3 TEK TASARIM ŞERİDİNİN YÜKLÜ OLMASI DURUMU İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ OLAN UÇ AYAK MOMENTİ HAREKETLİ YÜK DAĞILIM FORMÜLÜ

Bölüm 4.4.1.1’de ifade edilmiş olanların ışığında tek tasarım şeridinin yüklü olması durumundaki sonuçlar göz önünde bulundurularak çizilmiş olan grafikler (Şekil 4.4.2) ve elde edilmiş olan eğri denklemleri aşağıda gösterildiği gibidir. İntegral köprülerde tek tasarım şeridinin yüklü olması durumunda uç ayak momenti hareketli yük dağılım formülü olarak kullanılması önerilen denklem 4.4.2’deki gibidir.

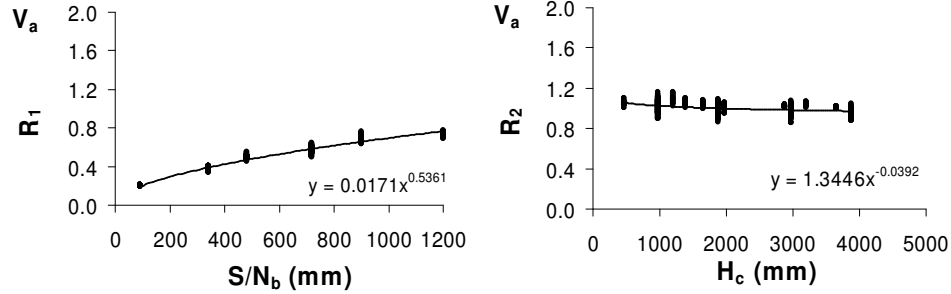


Şekil 4.4.2 Uç ayak momenti hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$  ve  $R_7$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

$$MU_{1DF} = \frac{S^{0.33} \cdot K_g^{0.3}}{2 \cdot N_b^{0.25} \cdot H_c^{0.3} \cdot L^{0.53} \cdot I_p^{0.08} \cdot \mu^{0.06} \cdot N_p^{0.08}} \quad (4.4.2)$$

#### 4.4.4 İKİ YA DA DAHA FAZLA TASARIM ŞERİDİNİN YÜKLÜ OLMASI DURUMU İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ OLAN UÇ AYAK KESME KUVVETİ HAREKETLİ YÜK DAĞILIM FORMÜLÜ

Bölüm 4.4.1.2' de ifade edilmiş olanların ışığında iki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumundaki sonuçlar göz önünde bulundurularak çizilmiş olan grafikler (Şekil 4.4.3) ve elde edilmiş olan eğri denklemleri aşağıda gösterildiği gibidir. İntegral köprülerde iki ya da daha fazla tasarım şeridinin yüklü olması durumunda uç ayak kesme kuvveti hareketli yük dağılım formülü olarak kullanılması önerilen denklem 4.4.3'deki gibidir.

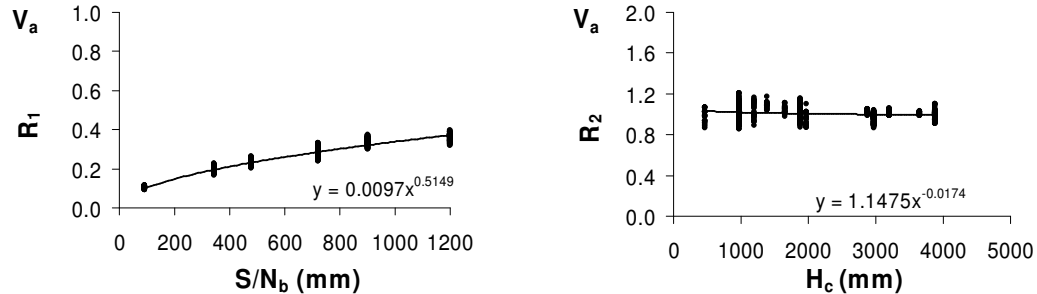


**Şekil 4.4.3** Uç ayak kesme hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$  ve  $R_2$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

$$VU_{2DF} = \frac{S^{0.54}}{44.H_c^{0.04}} \quad (4.4.3)$$

#### 4.4.5 TEK TASARIM ŞERİDİNİN YÜKLÜ OLMASI DURUMU İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ OLAN UÇ AYAK KESME KUVVETİ HAREKETLİ YÜK DAĞILIM FORMÜLÜ

Bölüm 4.4.1.2' de ifade edilmiş olanların ışığında tek tasarım şeridinin yüklü olması durumundaki sonuçlar göz önünde bulundurularak çizilmiş olan grafikler (Şekil 4.4.4) ve elde edilmiş olan eğri denklemleri aşağıda gösterildiği gibidir. İntegral köprülerde tek tasarım şeridinin yüklü olması durumunda uç ayak kesme kuvveti hareketli yük dağılım formülü olarak kullanılması önerilen denklem 4.4.4'deki gibidir.

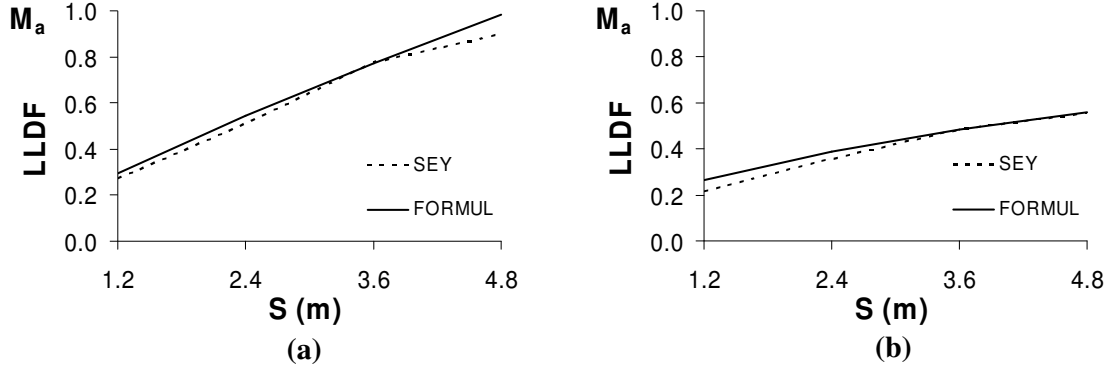


**Şekil 4.4.4** Uç ayak kesme hareketli yük dağılım katsayısının geliştirilmesi ile ilgili  $R_1$  ve  $R_2$  ifadelerinin regresyon analiz grafikleri

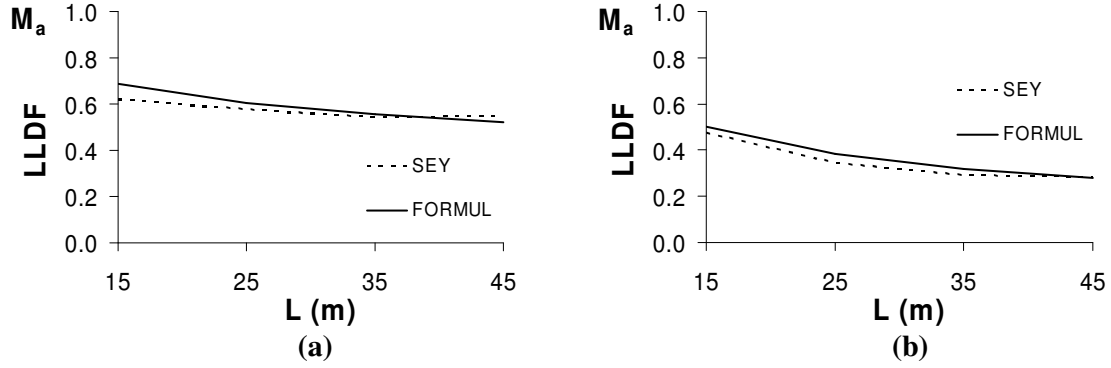
$$VU_{1DF} = \frac{S^{0.52}}{90.H_c^{0.02}} \quad (4.4.4)$$

#### 4.4.6 YENİ FORMÜLLERİN, ANALİZ SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

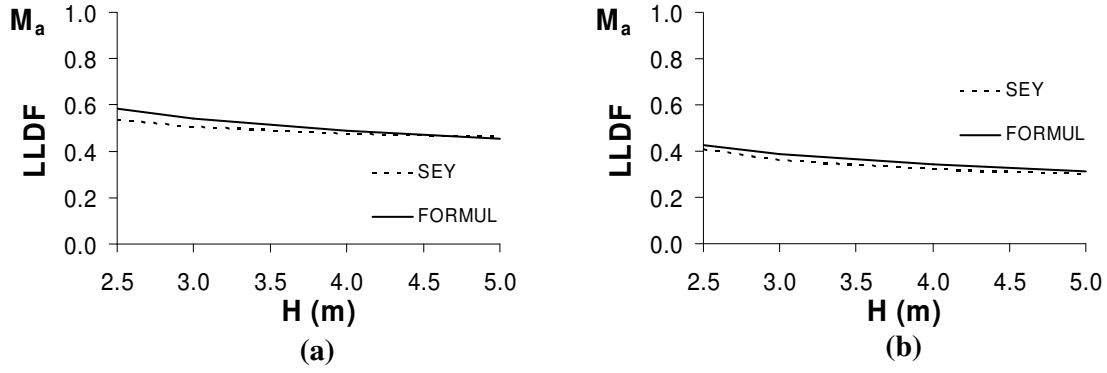
Sonlu elemanlar yöntemi (SEY) kullanılarak elde edilen sonuçlar, integral köprülerin uç ayak hareketli dağılım katsayılarını hesaplamak için geliştirilmiş olan hareketli yük dağılım formülleriyle hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaları gösteren grafikler Şekil 4.4.5–10 gösterildiği gibidir.



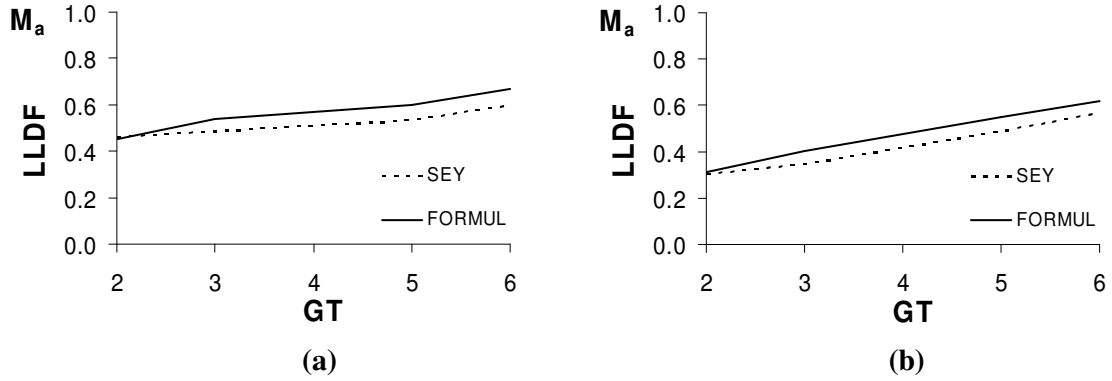
**Şekil 4.4.5** Kiriş aralığı ( $S$ ) vs. Moment hareketli yük dağılım katsayısı (LLDF);  $L=20m$ ,  $GT=2$ ,  $N_p=13$ , HP250x85,  $C_u=40$   $H=3m$  özelliklerine sahip köprüde (a) iki veya daha fazla tasarım şeridi yüklü (b) tek tasarım şeridi yüklü olması durumları için.



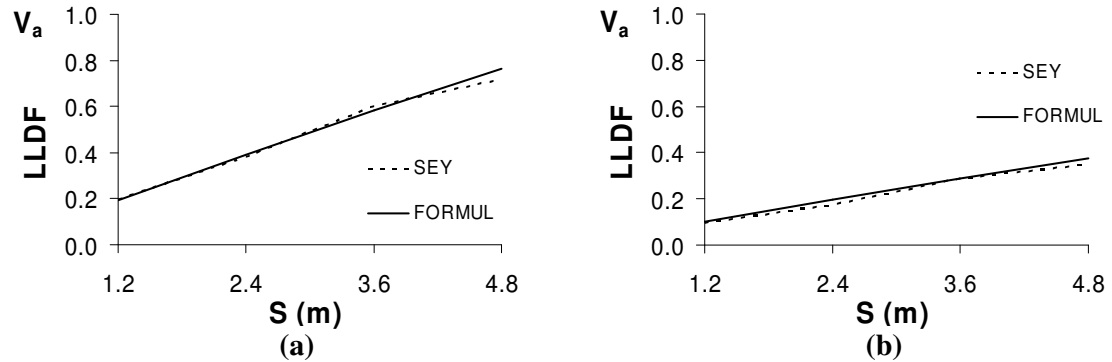
**Şekil 4.4.6** Açıklık ( $L$ ) vs. Moment hareketli yük dağılım katsayısı (LLDF);  $S=2.4m$ ,  $GT=2$ ,  $N_p=10$ , HP250x85,  $C_u=40$   $H=3m$  özelliklerine sahip köprüde (a) iki veya daha fazla tasarım şeridi yüklü (b) tek tasarım şeridi yüklü olması durumları için.



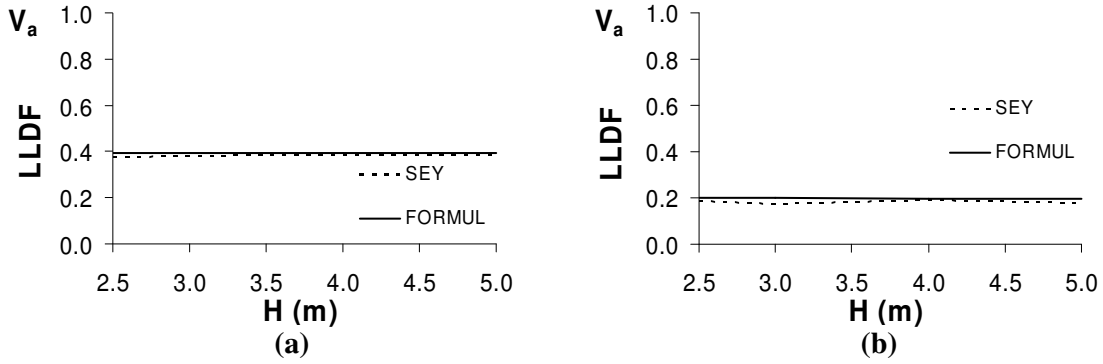
**Şekil 4.4.7** Uç ayak yüksekliği ( $H$ ) vs. Moment hareketli yük dağılım katsayısı (LLDF);  $S=2.4$  m,  $L=20$  m,  $GT=2$ ,  $N_p=13$ ,  $HP250 \times 85$ ,  $C_u=40$  özelliklerine sahip köprüde (a) iki veya daha fazla tasarım şeridi yüklü (b) tek tasarım şeridi yüklü olması durumları için.



**Şekil 4.4.8** Kiriş tipi ( $GT$ ) vs. Moment hareketli yük dağılım katsayısı (LLDF);  $S=2.4$  m,  $L=20$  m,  $N_p=13$ ,  $HP250 \times 85$ ,  $C_u=40$ ,  $H=5$  m özelliklerine sahip köprüde (a) iki veya daha fazla tasarım şeridi yüklü (b) tek tasarım şeridi yüklü olması durumları için.



**Şekil 4.4.9** Kiriş aralığı ( $S$ ) vs. Kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayısı (LLDF);  $L=20$  m,  $GT=2$ ,  $N_p=13$ ,  $HP250 \times 85$ ,  $C_u=40$ ,  $H=3$  m özelliklerine sahip köprüde (a) iki veya daha fazla tasarım şeridi yüklü (b) tek tasarım şeridi yüklü olması durumları için.



**Şekil 4.4.10** Uç ayak yüksekliği (H) vs. Kesme kuvveti hareketli yük dağılım katsayısı (LLDF); S=2.4 m, L=20 m, GT=2, Np=13, HP250x85, Cu=40 özelliklerine sahip köprüde (a) iki veya daha fazla tasarım şeridi yüklü (b) tek tasarım şeridi yüklü olması durumları için.

Ayrıca aşağıdaki tablo, yeni türetilmiş olan formüllerden hesaplanmış olan uç ayak hareketli yük dağılım katsayılarının, analiz sonuçlarından elde edilmiş olan uç ayak hareketli yük dağılım katsayılarına oranlarının ortalama ve standard sapma değerlerini göstermektedir.

**Tablo 4.4.6** Uç ayak formülleri ortalama ve Standard sapma değerleri

	Yüklü Şerit Sayısı	Yeni Formül	
		AVG	STD
$M_{uç ayak}$	Tek	1.07	0.19
	İki veya daha fazla	1.03	0.17
$V_{uç ayak}$	Tek	1.00	0.07
	İki veya daha fazla	1.02	0.07

## 5. SONUÇLAR

Bu araştırma projesinde hedeflendiği gibi integral köprülerin elemanları (kiriş, uç ayak ve kazık) için hareketli yük dağılım formülleri geliştirilmiş ve proje çalışması hedeflenen ölçülerde tamamlanmıştır. İntegral köprülerin kiriş, uç ayak ve kazıkları için geliştirilmiş olan bu formüllerin, integral köprülerle ilgili literatürdeki önemli bir boşluğu dolduracağı düşüncesindeyiz. Bu proje çalışması yakında TC. Karayolları ve Ulaştırma İdaresi'nde sunulacak olup, gelecekte integral köprülerin inşası ile ilgili hazırlanacak olan teknik şartnamede dikkate alınacağını ummaktayız. Çünkü, integral köprülerin ülkemizde de yaygın hale gelmesi için bu konuda uluslararası nitelikte bir teknik şartnamenin hazırlanması gerekmektedir. Bu şartnamenin hazırlanabilmesi için integral köprülerle ilgili bu şekilde bilimsel projelere ihtiyaç vardır. İntegral köprülerle ilgili olarak öncelikle yapılması önerilen ilave çalışmalar şu şekilde sıralanabilir,

1. İntegral köprülerin sismik yükler altındaki davranışı
2. Dinamik yükler etkisi altında kazık-zemin ve uç ayak-dolgu etkileşimleri
3. integral köprü kazıklarında ısıl köprü deplasmanlarından dolayı malzeme yorulmasının incelenmesi

## 6. YARARLANILAN KAYNAKLAR

- AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 4<sup>th</sup> Edition, Washington, D. C., USA (2007).
- AASHTO Standard Specifications Washington, D. C., USA (2002).
- Bakth, B., and Moses. F. “Lateral Distribution Factors for Highway Bridges.” *Journal of Structural Engineering*, ASCE 114(8), 1785-1803 (1988).
- Brena, S.F., Bonczar, C., Civjan, S.A., DeJong, J. and Crovo, D.S. “Evaluation of seasonal and yearly behavior of integral abutment bridge.” *J. Bridge Eng.* 12(3), 296-305 (2007).
- Cai, C. S. “Discussion of ‘AASHTO LRFD load distribution factors for slab-on-girder bridges.’”, *Pract. Period. Struct. Des. Constr.*, 10(3), 171–176 (2005).
- Civjan, S.A., Bonczar, C., Brena, S.F., DeJong, J. and Crovo, D. “Integral abutment bridge behavior: parametric analysis of a Massachusetts bridge.” *J. Bridge Eng.*, 12(1), 64-71 (2007).
- Dicleli, M. and Albhaisi S.M. “Maximum length of integral abutment bridges supported on steel H-piles driven in sand.” *Engineering Structures*, 25(12), 1491-1504 (2003).
- Dicleli, M, Albhaisi S.M. “Effect of cyclic thermal loading on the performance of steel H-piles in integral bridges with stub-abutments.” *Journal of Constructional Steel Research*, 60(2), 161-182 (2004).
- Dicleli, M. “Integral abutment-backfill behavior on sand soil - pushover analysis approach.” *J. Bridge Eng.*, 10(3), 354-364 (2005).
- Faraji, S., Ting, J. M., Crovo, D.S., Ernst, H., “Nonlinear analysis of integral bridges: finite element model.” *J. Geotech. and Geoenv. Eng.*, 127(5): 454-462 (2001).
- Hays, C. O., Jr “Lateral Distribution Factors for Highway Bridges,” *Journal of Structural Engineering*, ASCE 116(3), 868-871 (1990).
- Huo, S. X., Wasserman, E. P., and Iqbal, A. R. “ Simplified Method for Calculating Lateral Distribution Factors for Live Load Shear” *Journal of Bridge Engineering* Vol. 10, No.5 (2005).
- Khodair YA, Hassiotis, S. Analysis of soil–pile interaction in integral abutment. *Computers and Geotechnics*; 32(3): 201–209 (2005).
- Lehane BM, Keogh DL, O’Brien EJ. Simplified elastic model for restraining effects of backfill soil on integral bridges. *Computers and Structures*; 73: 303-313 (1999).
- Mourad, S., and Tabsh, W. S. “Deck Slab Stresses in Integral Abutment Bridges” *J. Bridge Eng.*, 4(2), 125-130 (1999).
- Newmark, N. M. “Design of I-beam bridges”, *J. Struct.. Div.*, 74(1), 305-330 (1948).



Tarhini, K. M., and Frederick, G. R. "Wheel load distribution in I girder highway bridges." *J. Struct. Eng.*, 118(5), 1285–1294 (1992).

Westergaard, H. M. "Computation of Stresses in Bridge Slabs due to Wheel Loads" *Public Roads*, 11 (1), 1-23 (1930).

Zokaie, T., Osterkamp, T. A., and Imbsen, R. A. "Distribution of wheel loads on highway bridges." *NCHRP 12-26 Final Rep.*, National Cooperative Highway Research Program, Washington, D.C (1991).

Zokaie, T. "AASHTO-LRFD Live Load Distribution Specifications" *Journal of Bridge Engineering* Vol. 5, No.2. (2000).

**TÜBİTAK**  
**PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

<b>Proje No: 106M169</b>
<b>Proje Başlığı: İntegral Köprü Elemanları için Hareketli Yük Dağılım Formüllerinin Geliştirilmesi</b>
<b>Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Doç. Dr. Murat DİCLELİ ve Semih ERHAN</b>
<b>Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Bil. Bölümü MM Binası 06531 ODTÜ / ANKARA</b>
<b>Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: TUBİTAK</b> <b>Tunus Caddesi No:80 06100 Kavaklıdere / Ankara</b>
<b>Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.09.2006-01.09.2008</b>
<b>Öz (en çok 70 kelime)</b> <p>İntegral köprülerin tasarımları için henüz kapsamlı bir teknik standart mevcut değildir. Bu nedenle, hareketli yük dağılım katsayılarının hesaplanması da dahil olmak üzere, bu köprülerin tasarımında genişleme derzli köprüler için geliştirilmiş olan teknik şartnamelerden yararlanılmaktadır. Bu da integral köprülerin ya emniyetsiz yada aşırı maliyetli bir şekilde tasarlanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, TÜBİTAK destekli bu projede yapılan çalışma ile integral köprülerde hareketli yüklerin köprü elemanlarına dağılımı ile ilgili katsayıları veren formüller geliştirilmiştir.</p>
<b>Anahtar Kelimeler: İntegral Köprü, hareketli yük, yük dağılımı</b>
<b>Projeden Yapılan Yayınlar:</b> <b>Uluslararası ISI Kapsamındaki Dergilerde Yayınlanmış Olan Makaleler</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Dicleli, M. and Erhan, S., "Effect of Soil and Substructure Properties on Live Load Distribution in Integral Abutment Bridges", <i>ASCE Journal of Bridge Engineering</i>, Volume 13, Issue 5, pp. 527-539, 2008.</li></ol> <b>Uluslararası ISI Kapsamındaki Dergilerde Hazırlanmış ve Henüz Değerlendirme Aşamasında Olan Makaleler</b> <ol style="list-style-type: none"><li>2. Dicleli, M. and Erhan, S., "Effect of Soil-Bridge Interaction on the Magnitude of Internal Forces in Integral Abutment Bridge Components due to Live Load Effects", <i>Engineering Structures</i>, Elsevier Science, under review. (Hakemler tarafından belirtilen düzeltmeler yapılmış ve makale tekrar gönderilmiştir.)</li><li>3. Dicleli, M. and Erhan, S., "Effect of Superstructure-Abutment Continuity on Live Load Distribution in Integral Abutment Bridge Girders", <i>Engineering Structures</i>, Elsevier Science, under review. (Hakemler tarafından belirtilen düzeltmeler yapılmış ve makale tekrar gönderilmiştir.)</li><li>4. Dicleli, M. and Erhan, S., "Live Load Distribution Formulae for Pre-stressed Concrete Integral Abutment Bridge Girders" <i>ASCE Journal of Bridge Engineering</i>, under review.</li></ol>

Ayrıca, “Effect Of Superstructure Parametres On Live Load Distribution In Integral Abutment Bridge Abutments and Piles” ve “Live Load Distribution Formulae for Substructure Components of Pre-stressed Concrete Integral Abutment Bridges” isimli iki adet makale yazım aşamasında olup yine ISI kapsamında olan iki adet dergiye gönderilecektir.

#### **Uluslararası Hakemli Kongrelerde Sunulmuş Olan Bildiriler**

1. Dicleli, M. and Erhan S., “Effect of soil-bridge interaction on the distribution of live load effects among integral bridge components”, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, Cape Town, South Africa, 10-12 September 2007.
2. Dicleli, M. and Erhan S., “Comparison of Live Load Distribution in Girders of Integral and Conventional Bridges”, Proceedings of the 10th International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation, Athens, Greece, 27-31 May 2008.
3. Dicleli, M. and Erhan S., “Effect of Soil-Bridge Interaction and Continuity on Live Load Distribution in Integral Bridges”, Proceedings of the Fourth International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS'08, Seoul, Korea, July 13-17, 2008.

Ayrıca, Mayıs 2009’da Amerika Birleşik Devletleri’nin Teksas eyaletinde yapılacak olan uluslararası bir kongreye “Live Load Distribution Formulae For Integral Bridge Girders” ve “Live Load Distribution Formulae For Integral Bridge Abutments And Piles” iki adet bildiri özeti gönderilmiştir. Bildirileri özetleri hakemler tarafından değerlendirilmektedir.

#### **Ulusal Hakemli Kongrelerde Sunulmuş Olan Bildiriler**

1. Erhan S. and Dicleli M. “Köprü-Zemin Etkileşiminin, Hareketli Yüklerden Dolayı İntegral Köprü Elemanlarında Oluşan Moment Ve Kesme Kuvvetlerine Etkileri” 1. Köprü ve Viyadükler Sempozyumu, 29-30 Kasım, Antalya, 2007
2. Erhan S. and Dicleli M. “İntegral Köprülerde Hareketli Yük Dağılımına Yapı-Zemin Etkileşimi Ve Uç-Ayak Tabliye Sürekliliğinin Etkileri” 1. Köprü ve Viyadükler Sempozyumu, 29-30 Kasım, Antalya, 2007

Bu sempozyumda sunulmuş olan bildirilerden “İntegral Köprülerde Hareketli Yük Dağılımına Yapı-Zemin Etkileşimi Ve Uç-Ayak Tabliye Sürekliliğinin Etkileri” başlıklı olanı sempozyum bildiriler kitabında yer almayıp İMO teknik dergisinde yayınlanmaya hak kazanmıştır.